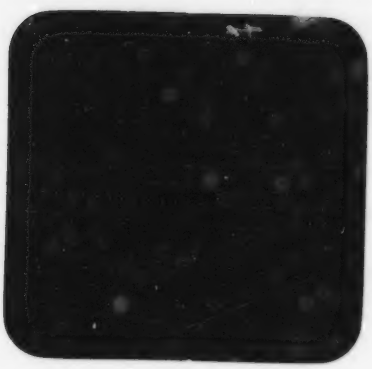
Modes alternatifs de répression des insectes dans les agro-écosystèmes québécois

TOME 1

DOCUMENT
SYNTHESE



Modes alternatifs de répression des insectes dans les agro-écosystèmes québécois

TOME 1

DOCUMENT
SYNTHÈSE

Madeleine Chagnon
André Payette

Consultants CVIAB Inc.

Étude réalisée à la demande du
Ministère de l'Environnement du Québec et
du Centre québécois de valorisation de la biomasse

MARS 1990

AUTEURS

Étude réalisée sous la responsabilité de

Madeleine Gagnon, entomologiste, chargée de projet
André Payette, entomologiste
Consultants CVIAB Inc.
2845, rue Notre-Dame
Saint-Hyacinthe (Québec)
J2S 2R8

Étude subventionnée par

la Direction de la recherche et des technologies environnementales du ministère de l'Environnement du Québec
et par
le Centre québécois de valorisation de la biomasse

Référence pour citer ce document

Chagnon M. et A. Payette. 1990. **Modes alternatifs de répression des insectes dans les agro-écosystèmes québécois, tome 1 : Document synthèse.** Québec. Ministère de l'Environnement et Centre québécois de valorisation de la biomasse. 81 p.

Mots-clés : alternatives, agriculture, agro-écosystème, insecte ravageur, lutte biologique, méthodes culturales, rotation, labourage, agents biologiques, résistance, piège, phéromone, biotechnologie, Bacillus thuringiensis.

Dépôt légal – 1er trimestre 1990 Envirodoq EN900003
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-20617-7 (Série)
ISBN 2-550-20618-5

Série QEN/EN-19/1

AVANT-PROPOS

Au Québec comme ailleurs, les productions végétales ne peuvent être envisagées sans recourir à des moyens de lutte contre les insectes ravageurs des récoltes. Les pesticides chimiques constituent le moyen de contrôle le plus utilisé. Toutefois, il faut reconnaître qu'un usage massif et parfois abusif des pesticides chimiques entraîne une augmentation de la pollution environnementale et constitue un risque pour la santé humaine. Les solutions à ce problème résident dans la limitation de l'utilisation des insecticides chimiques afin d'éviter les écarts de conduite et de favoriser le développement de modes alternatifs de répression des insectes ravageurs.

Cette étude vise à présenter les perspectives techniques et commerciales les plus intéressantes, pour le développement de modes alternatifs de répression des insectes ravageurs dans les agro-écosystèmes, et à suggérer certains projets de développement technologique et industriel au Québec.

L'étude comporte six tomes traitant des sujets suivants :

Tome 1 Modes alternatifs de répression des insectes dans les agro-écosystèmes québécois : document synthèse

Tome 2 Identification des insectes ravageurs dans les agro-écosystèmes conventionnels et état de l'agriculture biologique au Québec

Tome 3 Modes alternatifs de répression des insectes : les agents biologiques

Tome 4 Modes alternatifs de répression des insectes : les techniques physiques

Tome 5 Modes alternatifs de répression des insectes : les méthodes culturales et la résistance des végétaux

Tome 6 Survol de marché des alternatives aux insecticides en agriculture au Québec

Le tome 1 fait la synthèse des résultats. Il présente les objectifs généraux, la démarche et les tableaux-synthèse. La discussion identifie les modes alternatifs qui pourraient être applicables au Québec. En conclusion, on retrouve des recommandations de moyens à prendre pour assurer l'implantation de ces alternatives.

Nous souhaitons que cette étude guide les chercheurs, fournisse des informations aux dirigeants d'entreprises et devienne, pour les organismes gouvernementaux et para-gouvernementaux impliqués dans le domaine, une référence-clé dans l'évaluation de projets soumis à leur attention.

Les interprétations et opinions contenues dans ce document demeurent la responsabilité des auteurs et n'engagent en rien le ministère de l'Environnement du Québec et le Centre québécois de valorisation de la biomasse qui ont subventionné l'étude.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent tout d'abord au ministère de l'Environnement du Québec et au Centre québécois de valorisation de la biomasse pour le financement de cette étude. Nous remercions également Messieurs **Michel Goulet** et **Richard Desrosiers** du ministère de l'Environnement du Québec ainsi que Madame **Danielle Rivard** du Centre québécois de valorisation de la biomasse pour leur patience, leur appui et leurs judicieux conseils.

Nous désirons également souligner la collaboration de plusieurs personnes qui nous ont généreusement accordé de leur temps lors de nos consultations.

Alain Bernier	Service de protection de l'environnement, Environnement Canada
Guy Boivin	Station de recherches, Saint-Jean-sur- Richelieu, Agriculture Canada
Martin Boivin	Produits Ronald ltée
Bruce Broadbent	Agriculture Canada, Ontario
André Carrier	Direction de la coordination, MAPAQ
Paul Dionne	Pillsbury Canada ltée
Fernand Drolet	Bureau de renseignements agricoles de Châteauguay, MAPAQ
Raymond-M. Duchesne	Service de recherches en phytotechnie de Québec, MAPAQ
Georges Frost	Nabisco Brand ltée
Raymond Granger	Station de recherches, Saint-Jean-sur- Richelieu, Agriculture Canada
André Latour	Association des manufacturiers de produits agricoles du Québec
Michel Letendre	Service des productions végétales, MAPAQ

Pierre Martel	Station de recherches, Saint-Jean-sur- Richelieu, Agriculture Canada
Raymond Martin	Service de recherche en phytotechnie de Saint-Hyacinthe, MAPAQ
Yvon Morin	Réseau de dépistage Agrilus
Francine Perron	Service de protection de l'environnement
Claude Ritchot	Service de recherche en phytotechnie de Québec, MAPAQ
Michèle Roy	Service de recherches en phytotechnie de Québec, MAPAQ
Pierre Sauriol	Bureau de renseignements agricoles de Saint-Rémi, MAPAQ
Serge Sévigny	Le groupe Bio-Contrôle inc.
Patrick Sullivan	Bureau de renseignements agricoles de Saint-Hyacinthe, MAPAQ
Charles Vincent	Station de recherches, Saint-Jean-sur- Richelieu, Agriculture Canada

Nous tenons de plus à remercier Monsieur **Rénald Bourgeois** et Madame **Monique Lalonde** pour la coordination et l'amélioration du texte et Madame **Sylvie Bergeron** pour la coordination de la publication.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS 3

REMERCIEMENTS 5

TABLE DES MATIÈRES 7

TABLEAUX 9

FIGURES 11

1. INTRODUCTION 13
   - 1.1 Problématique 13
   - 1.2 Objectif 13
   - 1.3 Démarche générale 14
   - 1.4 Structure de l'étude 14

2. MÉTHODOLOGIE 15
   - 2.1 Identification des problèmes 15
     - 2.1.1 Pondération de l'importance économique 16
     - 2.1.2 Quantités de matière active utilisées 17
     - 2.1.3 Cultures en serres 17
   - 2.2 Répertoire des modes alternatifs 17
   - 2.3 Survol de marché 18
     - 2.3.1 Critères de sélection 18
     - 2.3.2 Modes alternatifs traités dans l'étude économique 18

3. RÉSULTATS 19

3.1 Importance économique des ravageurs et quantité de matières actives utilisée 19
3.1.1 En champs 19
3.1.2 En serres 20

3.2 Modes alternatifs de répression 26
3.2.1 Doryphore de la pomme de terre 26
3.2.2 Mouche de la pomme 33
3.2.3 Punaise terne 36
3.2.4 Mouche du chou 39
3.2.5 Charançon de la prune 43
3.2.6 Pyrale du maïs 46
3.2.7 Charançon de la carotte 54
3.2.8 Aleurode des serres 58
3.2.9 Tétranyque à deux points 62

4. DISCUSSION 66

4.1 Les agents biologiques 66
4.1.1 Les microorganismes pathogènes 66
4.1.2 Les nématodes 70
4.1.3 Les parasitoïdes et les prédateurs 71

4.2 Les techniques physiques 73

4.3 Les méthodes culturales 74

4.4 La résistance des végétaux 75

4.5 Développement des alternatives au Québec 75

5. CONCLUSION 77

6. RECOMMANDATIONS 77

6.1 La recherche 78
6.1 Besoins de la recherche 78
6.2 Financement 79

6.2 Disponibilité des agents 79
6.2.1 Importation 79
6.2.2 Développement au Québec 79
6.2.3 Institutions publiques 80

6.3 Formation, information et transfert des connaissances 80

6.4 Réseaux de dépistage 81

TABLEAUX

Tableau 1 Modes alternatifs sélectionnés pour l'étude économique 19

Tableau 2 Importance économique des principaux ravageurs en champs, classés par ordre décroissant de l'indice IER 21

Tableau 3 Insectes ravageurs par culture, classés selon les quantités de matières actives insecticides utilisées par culture 23

Tableau 4 Principaux insectes d'importance économique au Québec, dans les cultures en serres 26

Tableau 5 Doryphore de la pomme de terre, Leptinotarsa decemlineata (Say) : Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte 29

Tableau 6 Doryphore de la pomme de terre, Leptinotarsa decemlineata (Say) : Sommaire sélectif des techniques physiques de répression 30

Tableau 7 Doryphore de la pomme de terre, Leptinotarsa decemlineata (Say) : Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression 31

Tableau 8 Doryphore de la pomme de terre, Leptinotarsa decemlineata (Say) : Résistance des végétaux 32

Tableau 9 Mouche de la pomme, Rhagoletis pomonella (Walsh) : Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte 34

Tableau 10 Mouche de la pomme, Rhagoletis pomonella (Walsh) : Sommaire sélectif des techniques physiques de répression 34

Tableau 11 Mouche de la pomme, Rhagoletis pomonella (Walsh) : Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression 35

Tableau 12 Punaise terne, Lygus lineolaris (P. de B.) : Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte 37

Tableau 13 Punaise terne, Lygus lineolaris (P. de B.) : Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression 38

Tableau 14 Mouche du chou, Delia radicum (L.) : Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte 40

Tableau 15 Mouche du chou, Delia radicum (L.) : Sommaire sélectif des techniques physiques de répression 41

Tableau 16 Mouche du chou, Delia radicum (L.) : Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression 42

Tableau 17 Charançon de la prune, Conotrachelus nenuphar (Hbst.) : Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte 44

Tableau 18 Charançon de la prune, Conotrachelus nenuphar (Hbst.) : Sommaire sélectif des techniques physiques de répression 44

Tableau 19 Charançon de la prune, Conotrachelus nenuphar (Hbst.) : Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression 45

Tableau 20 Pyrale du maïs, Ostrinia nubilalis (Hbn.) : Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte 48

Tableau 21 Pyrale du maïs, Ostrinia nubilalis (Hbn.) : Sommaire sélectif des techniques physiques de répression 51

Tableau 22 Pyrale du maïs, Ostrinia nubilalis (Hbn.) : Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression 52

Tableau 23 Pyrale du maïs, Ostrinia nubilalis (Hbn.) : Résistance des végétaux 53

Tableau 24 Charançon de la carotte, Listronotus oregonensis (Lec.) : Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte 56

Tableau 25 Charançon de la carotte, Listronotus oregonensis (Lec.) : Sommaire sélectif des techniques physiques de répression 57

Tableau 26 Charançon de la carotte, Listronotus oregonensis (Lec.) : Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression 57

Tableau 27 Aleurode des serres, Trialeurodes vaporariorum (Westw.) : Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte 60

Tableau 28 Aleurode des serres, Trialeurodes vaporariorum (Westw.) : Sommaire sélectif des techniques physiques de répression 61

Tableau 29 Aleurode des serres, Trialeurodes vaporariorum (Westw.) : Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression 61

Tableau 30 Tétranyque à deux points, Tetranychus urticae Koch : Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte. 63

Tableau 31 Tétranyque à deux points, Tetranychus urticae Koch : Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression 65

FIGURES

Figure 1 Principaux insectes ravageurs classés selon la quantité de matières actives insecticides utilisée annuellement 24

Figure 2 Répartition des matières actives utilisées contre les principaux ravageurs 25

1. INTRODUCTION

1.1 Problématique

Il est pratiquement impossible, aujourd'hui, d'exploiter commercialement des productions végétales, en champs ou en serres, sans avoir recours aux pesticides. Ceux-ci ont été, depuis la fin de la seconde guerre mondiale, les principaux agents utilisés pour lutter contre les insectes ravageurs en agriculture.

Les produits chimiques, qui ont permis d'atteindre de hauts rendements, causent également d'importants problèmes. On note l'apparition de souches résistantes d'insectes, qui oblige à une augmentation de concentration et de fréquence d'applications insecticides, pour atteindre un même taux d'efficacité ; la réapparition des populations de ravageurs après certains traitements ayant indirectement causé la disparition de leurs prédateurs ; la manifestation de ravageurs secondaires et de nouveaux ravageurs.

En plus de ces problèmes, il existe aussi des risques d'empoisonnement de l'environnement. A cause de ces dangers, le Québec s'est doté, en juin 1987, d'une Loi sur les pesticides (L.R.Q., C P - 9.3). Cette loi vise à réduire et à rationaliser l'usage des pesticides. Elle n'a pas, cependant, aboli les problèmes de ravageurs en milieu agricole, d'où la nécessité d'envisager, à court ou à moyen terme, des méthodes de remplacement aux insecticides de synthèse.

Ces méthodes comprennent la lutte biologique (prédateurs, parasitoïdes, pathogènes, etc.), les techniques physiques ou mécaniques, les méthodes culturales et l'utilisation de variétés horticoles résistantes aux insectes. Elles offrent cependant peu de solutions applicables dans l'immédiat. Ces méthodes sont en développement, ici et à l'étranger, et nécessitent, en plus, une période de mise au point et d'essai avant de faire l'objet de recommandations d'utilisation.

L'intérêt grandissant pour la lutte intégrée et l'agriculture biologique au Québec commande de bien identifier et évaluer ces alternatives, afin d'orienter les efforts de recherche et de développement vers des solutions pratiques et réalistes, applicables à grande échelle.

1.2 Objectif

L'objectif de cette étude est de circonscrire les problèmes et de proposer des orientations concrètes et pertinentes pour la recherche, la mise au point technique et, finalement, l'implantation de ces alternatives dans la production agricole ; et ce, en vue du remplacement des principaux insecticides de synthèse utilisés pour le contrôle des ravageurs d'importance économique s'attaquant aux cultures québécoises.

Les objectifs particuliers sont

d'identifier les problèmes de ravageurs et leur ampleur dans les agro-écosystèmes québécois, en champs et en serres ;

de répertorier les différentes méthodes de remplacement des insecticides, en particulier la lutte biologique, les techniques physiques, les méthodes culturales et les plantes résistantes ;

de classer ces méthodes de remplacement selon les critères des méthodes existantes et émergentes utilisées au Québec, des méthodes non implantées au Québec et utilisées à l'étranger et des méthodes en développement au Québec ou à l'étranger ;

d'analyser les possibilités (avantages et contraintes) d'implanter les méthodes de remplacement selon les problèmes identifiés dans les agro-écosystèmes québécois et d'évaluer ces méthodes selon les critères scientifiques, technologiques, économiques, commerciaux, sociaux, politiques et environnementaux ;

de recommander les méthodes qui pourraient être mises de l'avant au Québec et de suggérer les façons ou les démarches pour y arriver ;

d'identifier les groupes de recherche québécois oeuvrant dans le secteur des modes alternatifs et résumer leurs axes de recherche ;

d'identifier, au Québec, les industries intéressées dans la production et l'exploitation commerciale des modes alternatifs de répression.

1.3 Démarche générale

Afin d'atteindre ces objectifs, le travail a été divisé en trois étapes. La première a consisté en l'identification des principaux insectes ravageurs dans les agro-écosystèmes québécois en agriculture conventionnelle. De plus, nous avons voulu connaître la situation actuelle chez les agriculteurs biologiques au Québec, en particulier les problèmes de répression auxquels ils font face et les solutions qu'ils proposent.

La liste des principaux insectes nuisibles, identifiés lors de la première étape, a servi de point de départ à une recherche bibliographique qui visait à répertorier les méthodes alternatives aux insecticides. Ce travail énorme a constitué la deuxième partie de l'étude.

Dans la troisième partie, les méthodes de remplacement jugées les plus prometteuses ont fait l'objet d'une étude économique.

1.4 Structure de l'étude

Cette étude exploratoire est divisée en six tomes.

Le tome 1 fait la synthèse des résultats. Il présente les objectifs généraux, la démarche et les tableaux-synthèse. La discussion identifie les modes alternatifs qui pourraient être applicables au Québec puis, en conlusion, on retrouve des recommandations de moyens à prendre pour assurer l'implantation de ces alternatives.

Le tome 2 identifie les principaux insectes ravageurs présents dans les agro-écosystèmes du Québec. On y décrit en détail la méthodologie utilisée pour identifier ces ravageurs, pour pondérer leur importance économique et pour déterminer les quantités d'insecticides employées dans chacune des cultures étudiées. Les données brutes ayant servi aux calculs apparaissent à l'annexe B. L'annexe C constitue l'inventaire des principaux insectes ravageurs au Québec. On y mentionne les stades de développement des insectes occasionnant des dégâts, les stades phénologiques de la plante endommagée ainsi que les noms communs et une quantification (grammes par hectare de matières actives) des insecticides recommandés. Les insectes identifiés à cette étape ont servi de base aux phases subséquentes de l'étude.

On retrouve aux tomes 3, 4 et 5 la description de la situation actuelle des modes alternatifs aux insecticides pour le contrôle des ravageurs, telle que révélée par une recherche bibliographique. De plus, on présente un aperçu de la biologie et de la distribution géographique des insectes ravageurs traités. On y discute également de l'état d'avancement des alternatives, de leur disponibilité et des possibilités d'implantation au Québec. Les tomes 3 et 4 traitent respectivement de la lutte biologique et des techniques physiques de répression des insectes. Les méthodes culturales et la résistance des végétaux sont présentées au tome 5.

Enfin, le tome 6 présente un survol de marché portant sur dix modes alternatifs parmi les plus prometteurs, en regard de leur développement et de leur commercialisation au Québec. Il s'agit d'une analyse technico-économique du marché potentiel de ces alternatives. On y discute aussi de la situation et des tendances mondiales du marché de la lutte contre les ravageurs en agriculture.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Identification des problèmes

Dans le cadre de cette étude, la recherche s'est concentrée sur les méthodes de remplacement des insecticides pour combattre les ravageurs les plus importants pour l'économie agricole québécoise. Les principaux insectes ravageurs ont été répertoriés à partir des informations publiées ou communiquées par des personnes-ressources.

Les organismes suivants ont été consultés :

le Laboratoire de diagnostic du MAPAQ,
le réseau d'avertissements phytosanitaires du MAPAQ (RAPQ),
Environnement Canada,
Agriculture Canada,
certaines conserveries,
Fleurs-Canada (Flowers Canada),
un réseau de dépistage,
des conseillers agricoles du MAPAQ.

On retrouvera au tome 2 une présentation des renseignements obtenus de ces divers organismes. L'emploi de questionnaires, conçus spécifiquement pour nos besoins (voir l'annexe A du tome 2), a permis d'uniformiser la cueillette des données.

Ces données sont regroupées à l'annexe B du tome 2. On y énumère les principales espèces de ravageurs, les cultures attaquées et les régions agricoles touchées. Le nombre de traitements requis est indiqué et les quantités de matières actives appliquées, en grammes par hectare, sont calculées. Les données compilées ainsi et d'autres provenant de Statistique Canada (1986) ont permis d'estimer l'importance économique des ravages et les quantités d'insecticides utilisées pour les réduire.

2.1.1 Pondération de l'importance économique

Nous avons retenu deux variables pour évaluer les dommages causés par les insectes : l'importance du ravage et la valeur de la culture attaquée. Ces variables ont été décomposées à leur tour.

Pour l'importance du ravage, nous avons accordé les pointages suivants pour tenir compte de la fréquence du problème et de la gravité des dommages potentiels. Ces pointages ont été établis grâce aux informations reçues des différents organismes consultés.

Fréquence des attaques	Gravité des dégâts
0,8 - rare	1,2 - faible
1,6 - occasionnelle	2,4 - moyenne
2,4 - fréquente	3,6 - élevée
3,2 - généralisée	4,8 - perte totale

Pour la culture attaquée, la superficie totale cultivée (ha) et le prix moyen à la ferme ($/tonne métrique) ont reçu une valeur pondérée selon le tableau suivant.

Superficie de la culture	Valeur à la ferme
1 - moins de 500 ha	1 - moins de 150$/tonne
2 - entre 500 et 1 500	2 - entre 150 et 325$
3 - entre 1 501 et 4 000	3 - entre 326 et 500$
4 - entre 4 001 et 10 000	4 - entre 501 et 1 000$
5 - entre 10 001 et 20 000	5 - entre 1 001 et 1 500$
6 - plus de 20 000 ha	6 - plus de 1 500$/tonne

Les quatre variables retenues ont été pondérées et combinées pour donner un indice de l'importance économique du ravageur (IER). Le poids accordé à ces variables a été déterminé, testé et validé par des experts. Le modèle utilisé est expliqué en détail au tome 2. Il se présente comme suit :

ravage de l'insecte		culture	
fréquence + dégâts	+	superficie + $/tonne	= IER
/3,2 + /4,8	+	/6 + /6	= /20

2.1.2 Quantités de matière active utilisées

Afin d'identifier les ravageurs qui recevaient les plus grandes quantités d'insecticides, nous avons relevé la formulation et les doses d'insecticides recommandées dans les guides du Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ, 1980, 1983, 1984, 1987, 1988), les communiqués du RAPQ (1988) ou le guide de l'horticulteur (1987) ; nous avons ensuite calculé la quantité moyenne de matières actives (kg/ha) appliquée, si tous les producteurs suivaient les recommandations.

Cette quantité, multipliée par le nombre de traitements recommandé et par la superficie en culture, donne une estimation de la quantité de matières actives totale appliquée, par insecte, pour une culture donnée et pour une année de production. Par la suite, la quantité totale de matières actives obtenue est multipliée par un facteur de pondération, établi entre 0,20 et 1. Ce facteur tient compte, pour chaque ravageur, de la fréquence et de la gravité du problème ainsi que de la distribution géographique (les détails et les exemples de ces calculs sont présentés au tome 2).

Cet exercice permet d'obtenir une cote pour chaque insecte et chaque culture considérés. Ces valeurs représentent des évaluations fondées sur l'ensemble des données disponibles quant à l'utilisation des pesticides chimiques recommandés pour le contrôle des ravageurs.

2.1.3 Cultures en serres

La méthode, utilisée pour la pondération de l'importance économique des ravageurs rencontrés sur les cultures en serres, a été sensiblement la même que celle retenue pour les cultures en champs. Toutefois, il a été impossible d'évaluer, en serres, la quantité de matières actives insecticides utilisée par ravageur, car les taux d'application d'insecticides en serres sont souvent variables.

2.2 Répertoire des modes alternatifs

Le répertoire des différents modes alternatifs de répression a été élaboré à partir de la liste des ravageurs importants identifiés lors de la première phase de l'étude. Le travail a été divisé en quatre thèmes distincts et confié à autant de groupes de travail. Les informations recueillies se retrouvent dans les tomes 3, 4 et 5. Les subdivisions de l'étude ainsi que les responsables respectifs étaient

pour le tome 3, la lutte biologique	Conrad Cloutier, Université Laval
pour le tome 4, les techniques physiques	André Payette, Consultants CVIAB Inc.
pour le tome 5, les méthodes culturales	Stuart B. Hill, Collège Macdonald de l'Université McGill

pour le tome 5,
la résistance des végétaux — Domingos de Oliveira, Université du Québec à Montréal

Les responsables ont reçu la liste des ravageurs avec le mandat de répertorier, dans leur champ respectif, les méthodes de contrôle pouvant remplacer les insecticides chimiques, sans oublier les autres objectifs de l'étude. Les moyens employés par chacun des groupes pour obtenir les informations présentées sont décrits dans les tomes respectifs. Les informations recueillies sont résumées aux tableaux intitulés sommaires sélectifs et apparaissent à la section des résultats. Des rencontres de travail avec des spécialistes du MAPAQ et d'Agriculture Canada ont permis de valider ces tableaux-synthèse tout en les complétant.

2.3 Survol de marché

2.3.1 Critères de sélection pour l'étude économique

Certains modes alternatifs ont été sélectionnés pour faire l'objet d'un survol de marché. Les critères de sélection utilisés pour dresser la liste des modes alternatifs à étudier sont

- le choix de dix modes alternatifs prometteurs ;
- la sélection d'au moins un mode alternatif dans chacun des thèmes (lutte biologique, techniques physiques, méthodes culturales et plantes résistantes) ;
- que certains soient spécifiques à la lutte biologique en serres ;
- de réprimer, en champ, un des insectes les plus importants identifiés ;
- une bonne cote selon les critères scientifiques et technologiques ;
- d'offrir un intérêt certain quant à son état d'avancement et à ses perspectives d'avenir.

2.3.2 Modes alternatifs traités dans l'étude économique

Le tableau 1 dresse la liste des dix alternatives sélectionnées pour le survol de marché. Ces modes de répression sont associés à sept des insectes considérés comme les plus dommageables. Cinq se retrouvent sur les cultures en champ et les deux autres sont des ravageurs des cultures en serre.

En champ, on retrouve

le doryphore de la pomme de terre,
la mouche de la pomme,
la pyrale du maïs,
le charançon de la carotte,
la carpocapse de la pomme.

Certains ravageurs, d'importance majeure, n'ont pas été retenus, puisque la recherche concernant l'efficacité de modes alternatifs de répression n'était pas suffisamment avancée. Il s'agit de la punaise terne, du charançon de la prune, du tétranyque rouge du pommier et de la mouche du chou.

La culture en serres offre actuellement le plus de possibilités concrètes pour la lutte biologique. Cependant, le nombre de modes alternatifs à choisir étant limité, seulement deux agents biologiques des ravageurs des serres étaient retenus pour l'étude économique. Il s'agit de modes spécifiques à l'aleurode des serres et au tétranyque à deux points.

Tableau 1 : Modes alternatifs sélectionnés pour l'étude économique

Modes alternatifs	Ravageurs	Cultures
1. B.t. san diego	Doryphore de la pomme de terre	Pomme de terre
2. B.t. kurstaki	Pyrale du maïs	Maïs
3. Steinernema feltiae	Charançon de la carotte	Carotte
4. Trichogramma maidis	Pyrale du maïs	Maïs
5. Encarsia formosa	Aleurode des serres	Tomate
6. Phytoseiulus persimilis	Tétranyque à deux points	Concombre
7. Piège à phéromone	Carpocapse de la pomme	Pomme
8. Piège visuel	Mouche de la pomme	Pomme
9. Labourage-hersage	Doryphore de la pomme de terre	Pomme de terre
10. Maïs résistant	Pyrale du maïs	Maïs

3. RÉSULTATS

3.1 Importance économique des ravageurs et quantité de matières actives utilisée

3.1.1 En champs

Les dommages de certains ravageurs dans les agro-écosystèmes québécois ont été évalués pour des espèces d'insectes et acariens causant des dégâts sur 25 cultures en champs. Les ravageurs dans ces cultures se répartissent en huit ordres, 27 familles et 51 espèces. Ils sont présentés au tableau 2, classés selon leur rang décroissant d'importance économique (cote calculée selon le modèle).

La quantité d'insecticides utilisée par culture a été calculée pour 36 espèces d'insectes, regroupés en 18 familles et huit ordres. Au tableau 3, on retrouve les principaux insectes ravageurs classés selon l'ordre décroissant de la quantité de matières actives insecticides et la cote obtenue pour leur importance économique. La figure 1 illustre graphiquement ces valeurs. La hauteur des histogrammes nous permet de diviser arbitrairement ces insectes en quatre classes d'importance.

Le doryphore de la pomme de terre occupe, à lui seul, la classe la plus importante en ce qui a trait à la quantité de matières actives insecticides utilisée annuellement pour le réprimer. La mouche de la pomme, la punaise terne et la mouche du chou se partagent la deuxième classe. La troisième classe comprend le charançon de la prune, la pyrale du maïs et le tétranyque rouge du pommier. Les autres insectes sont regroupés dans une quatrième classe ; le charançon de la carotte est le plus important dans cette classe.

La figure 2 illustre, toujours selon des évaluations globales, la répartition annuelle des quantités de matières actives insecticides utilisées dans les agro-écosystèmes québécois, contre les huit premiers insectes du tableau 3. Le doryphore de la pomme de terre requiert à lui seul environ 19% de ces quantités utilisées annuellement. Viennent ensuite la mouche de la pomme (10,7%), la punaise terne (10,6%), la mouche du chou et le charançon de la prune. Trois de ces quatre insectes sont des ravageurs rencontrés en vergers de pommiers. Les résultats discutés au tome 2 indiquent que 25% de la quantité totale de matières actives insecticides sont utilisés pour la répression des ravageurs prépondérants de la pomme.

3.1.2 En serres

Afin d'identifier les principaux insectes ravageurs des cultures abritées, nous avons évalué leurs ravages sur les principales cultures de légumes en serres. Les résultats présentés au tableau 4 attribuent des cotes relativement basses aux ravageurs dans les serres, comparativement aux ravageurs des cultures en champ. Ceci s'explique par le fait que le modèle utilisé pour l'obtention de la cote tient compte des superficies des cultures, plus faibles en serre. Ces ravageurs ne sont pas pour autant négligeables puisque la protection des cultures en serres constitue un problème très différent des champs. Il s'agit de milieux fermés où la résistance se développe plus fréquemment et plus rapidement et où les solutions alternatives pour la répression des insectes sont parfois les seules à envisager.

L'aleurode des serres est sans contredit l'insecte ravageur le plus important s'attaquant aux plantes cultivées sous abris ; elle est présente sur les deux cultures maraîchères qui occupent les plus grandes superficies en serre, la tomate et le concombre. Les ravageurs retenus ici constituent des problèmes majeurs en agriculture et s'ils reçoivent des cotes relativement basses comparativement aux ravageurs rencontrés en champ, c'est qu'ils attaquent des cultures abritées, donc totalisant de petites superficies. L'aleurode des serres, le tétranyque à deux points, les thrips et les pucerons causent tous des dégâts considérables. De plus, les mouches blanches et les pucerons sécrètent un miellat abondant, qui occasionne des dépenses supplémentaires pour le lavage des légumes avant la mise en marché.

La culture des fleurs ornementales constitue une part importante du marché des serres au Québec. Puisque l'aspect esthétique est un critère très important dans cette culture, le seuil de tolérance aux dommages visibles sur les feuilles et les fleurs est presque nul. Pour cette raison, des quantités importantes d'insecticides sont utilisées pour la répression des insectes nuisibles sur les plantes ornementales. Les problèmes d'insectes ravageurs dans les serres de plantes ornementales du Québec sont discutés au tome 2. Les résultats révèlent que, parmi les huit ravageurs

Tableau 2 : Importance économique des principaux ravageurs en champs, classés par ordre décroissant de l'indice IER

Rang	Noms des ravageurs		Cultures	IER
	Noms français	Noms latins		/20
1	Doryphore de la pomme de terre (M.)	Leptinotarsa decemlineata (Say)	Pomme de terre	15,0
2	Punaise terne (F.)	Lygus lineolaris (P. de B.)	Fraise	14,8
3	Pyrale du maïs (F.)	Ostrinia nubilalis (Hbn.)	Maïs sucré	13,2
4	Chrysomèle des racines du maïs (F.)	Diabrotica barberi S.&L.	Maïs-grain	13,0
4	Punaise terne (F.)	Lygus lineolaris (P. de B.)	Laitue	13,0
5	Mouche de la pomme (M.)	Rhagoletis pomonella (Walsh)	Pomme	12,8
5	Carpocapse de la pomme (F.)	Cydia pomonella (L.)	Pomme	12,8
5	Charançon de la prune (M.)	Conotrachelus nenuphar (Hbst.)	Pomme	12,8
5	Punaise terne (F.)	Lygus lineolaris (P. de B.)	Pomme	12,8
5	Punaise de la pomme (F.)	Lygocoris communis (Knight)	Pomme	12,8
5	Tétranyque rouge du pommier (M.)	Panonychus ulmi (Koch)	Pomme	12,8
5	Anthonome de la fleur du fraisier (M.)	Anthonomus signatus Say	Fraise	12,8
5	Anthonome de la fleur du fraisier (M.)	Anthonomus signatus Say	Framboise	12,8
5	Punaise terne (F.)	Lygus lineolaris (P. de B.)	Framboise	12,8
5	Tétranyque à deux points (M.)	Tetranychus urticae Koch	Framboise	12,8
6	Mouche du chou (F.)	Delia radicum (L.)	Crucifères	12,2
6	Punaise terne (F.)	Lygus lineolaris (P. de B.)	Céleri	12,2
7	Mouche du chou (F.)	Delia radicum (L.)	Rutabaga	12,0
7	Tarsonème du fraisier (M.)	Steneotarsonemus pallidus Banks	Fraise	12,0
7	Tétranyque à deux points (M.)	Tetranychus urticae Koch	Fraise	12,0
8	Criocère de l'asperge (M.)	Crioceris asparagi (L.)	Asperge	11,8
8	Doryphore de la pomme de terre (M.)	Leptinotarsa decemlineata (Say)	Tomate	11,8
8	Mouche du chou (F.)	Delia radicum (L.)	Chou-fleur	11,8
8	Piéride du chou (F.)	Artogeia rapae (L.)	Chou-fleur	11,8
8	Piéride du chou (F.)	Artogeia rapae (L.)	Crucifères	11,8
9	Nitidule à quatre points (M.)	Glischrochilus quadrisignatus(Say)	Framboise	11,6
10	Puceron des céréales (M.)	Sitobion avenae (F.)	Blé	11,4
11	Hoplocampe des pommes (F.)	Hoplocampa testudinea (Klug)	Pomme	11,2
11	Cochenille virgule du pommier (F.)	Lepidosaphes ulmi (L.)	Pomme	11,2
11	Orthosie verte (F.)	Orthosia hibisci (Gn.)	Pomme	11,2
11	Tordeuse à bandes obliques (F.)	Choristoneura rosaceana (Harr.)	Pomme	11,2
11	Tordeuse du pommier (F.)	Archips argyrospila (Wlk.)	Pomme	11,2
11	Mineuse marbrée (F.)	Phyllonorycter blancardella (F.)	Pomme	11,2
11	Tétranyque à deux points (M.)	Tetranychus urticae Koch	Pomme	11,2
11	Sésie du cornouiller (F.)	Synanthedon scitula (Harr.)	Pomme	11,2
11	Noctuelle du fraisier	Noctuidae	Fraise	11,2
11	Vers fil-de-fer (M.)	Elateridae	Fraise	11,2
11	Hanneton commun (M.)	Phyllophaga anxia (Lec.)	Fraise	11,2
11	Vers fil-de-fer (M.)	Elateridae	Maïs sucré	11,2
11	Pyrale du maïs (F.)	Ostrinia nubilalis (Hbn.)	Haricot	11,2
11	Punaise terne (F.)	Lygus lineolaris (P. de B.)	Piment	11,2
12	Charançon de la carotte (M.)	Listronotus oregonensis (Lec.)	Carotte	11,0
12	Légionnaire uniponctuée (F.)	Pseudaletia unipuncta (Haw.)	Maïs-grain	11,0
12	Mouche de l'oignon (F.)	Delia antiqua (Meig.)	Oignon	11,0
12	Noctuelles (vers-gris)	Noctuidae	Asperge	11,0
12	Perce-tige de la pomme de terre (M.)	Hydraecia micacea (Esp.)	Maïs-grain	11,0
12	Puceron des céréales (M.)	Sitobion avenae (F.)	Avoine	11,0
12	Pyrale du maïs (F.)	Ostrinia nubilalis (Hbn.)	Maïs-grain	11,0
12	Vers fil-de-fer (M.)	Elateridae	Tomate	11,0
12	Vers fil-de-fer (M.)	Elateridae	Maïs-grain	11,0
12	Vers fil-de-fer (M.)	Elateridae	Pomme de terre	11,0
13	Altise à tête rouge (F.)	Systena frontalis (F.)	Fraise	10,8
13	Chrysomèle des racines du maïs (F.)	Diabrotica barberi S.&L.	Maïs sucré	10,8
13	Mouche des légumineuses (F.)	Delia platura (Meig.)	Haricot	10,8
13	Nitidule à quatre points (M.)	Glischrochilus quadrisignatus (Say)	Maïs sucré	10,8
13	Perce-tige de la pomme de terre (M.)	Hydraecia micacea (Esp.)	Fraise	10,8
13	Tordeuse du fraisier (F.)	Ancylis comptana (Frö.)	Fraise	10,8
14	Criocère à douze points (M.)	Crioceris duodecimpunctata (L.)	Asperge	10,6
14	Fausse-teigne des crucifères (F.)	Plutella xylostella (L.)	Chou-fleur	10,6

Tableau 2 : Importance économique des principaux ravageurs en champs, classés par ordre décroissant de l'indice IER (suite)

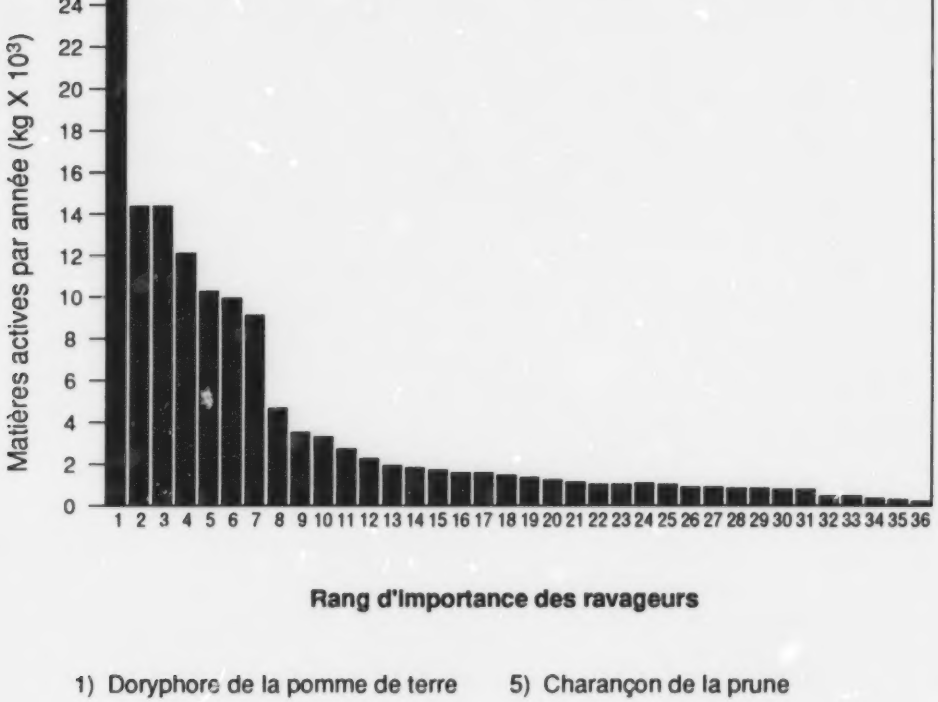
Rang	Noms des ravageurs		Cultures	IER
	Noms français	Noms latins		/20
14	Mouche du chou (F.)	Delia radicum (L.)	Radis	10,6
14	Nitidule à quatre points (M.)	Glischrochilus quadrisignatus (Say)	Maïs-grain	10,6
14	Puceron du maïs (M.)	Rhopalosiphum maidis (Fitch)	Maïs-grain	10,6
15	Puceron des céréales (M.)	Sitobion avenae (F.)	Sarrasin	10,2
15	Puceron des céréales (M.)	Sitobion avenae (F.)	Orge	10,2
16	Légionnaire d'automne (F.)	Spodoptera frugiperda (J.E. Smith)	Maïs sucré	10,0
16	Vers-gris (M.)	Noctuidae (partim)	Céleri	10,0
17	Cécidomyie du blé (F.)	Sitodiplosis mosellana (Gehin)	Blé	9,8
17	Fausse-teigne des crucifères (F.)	Plutella xylostella (L.)	Crucifères	9,8
17	Hespérie des graminées (F.)	Thymelicus lineola (Ochs.)	Graminées	9,8
17	Mouche de la carotte (F.)	Psila rosae (F.)	Carotte	9,8
17	Perce-tige tacheté (M.)	Papaipema nebris (Gn.)	Maïs-grain	9,8
18	Cicadelle de l'aster (F.)	Macrosteles quadrilineatus (Fbs.)	Carotte	9,4
19	Vers fil-de-fer	Elateridae	Rutabaga	9,2
20	Altise des crucifères (F.)	Phyllotreta cruciferae (Goeze)	Crucifères	9,0
20	Puceron	Aphidoidae (partim)	Céleri	9,0
20	Vers-gris tacheté (M.)	Xestia adela Franc.	Crucifères	9,0
20	Vers-gris (M.)	Noctuidae (partim)	Carotte	9,0
21	Chrysomèle rayée du concombre (F.)	Acalymma vittatum (F.)	Concombre	8,8
21	Cochenille ostréiforme (F.)	Quadraspidiotus ostreaeformis(Curt.)	Pomme	8,8
21	Puceron du maïs (M.)	Rhopalosiphum maidis (Fitch)	Maïs sucré	8,8
21	Saperde du pommier (F.)	Saperda candida F.	Pomme	8,8
21	Ver de l'épi du maïs (M.)	Heliothis zea (Boddie)	Maïs sucré	8,8
22	Puceron du pois (M.)	Acyrthosiphon pisum (Harr.)	Pois	8,0
23	Thrips de l'oignon (M.)	Thrips tabaci Lind.	Oignon	7,8
24	Vers-gris (M.)	Noctuidae (partim)	Oignon	7,0

Tableau 3 : Insectes ravageurs par culture, classés selon les quantités de matières actives insecticides utilisées par culture

Rang	Noms des ravageurs	kg m.a. /ravageur/année	Cultures	kg m.a/ravageur /culture/année
1	Doryphore de la pomme de terre	25 010,00	———	
–	Doryphore de la pomme de terre		Pomme de terre	24 081,60
–	Doryphore de la pomme de terre		Tomate	928,40
2	Mouche de la pomme	14 112,00	Pomme	14 112,00
3	Punaise terne	14 021,57	———	
–	Punaise terne		Pomme	5 472,00
–	Punaise terne		Laitue	3 640,32
–	Punaise terne		Fraise	2 841,09
–	Punaise terne		Céleri	1 045,76
–	Punaise terne		Framboise	1 022,40
4	Mouche du chou	11 839,62	———	
–	Mouche du chou		Rutabaga	7 644,00
–	Mouche du chou		Crucifères	4 195,62
5	Charançon de la prune	9 971,20	Pomme	9 971,20
6	Pyrale du maïs	9 650,97	———	
–	Pyrale du maïs		Maïs sucré	8 378,78
–	Pyrale du maïs		Piment	1 272,21
7	Tétranyque rouge du pommier	8 864,00	Pomme	8 864,00
8	Charançon de la carotte	4 502,78	Carotte	4 502,78
9	Anthonome de la fleur du fraisier	3 476,84	———	
–	Anthonome de la fleur du fraisier		Fraise	2 958,54
–	Anthonome de la fleur du fraisier		Framboise	518,30
10	Piéride du chou	3 227,40	Crucifères	3 227,40
11	Tétranyque à deux points	2 602,61	———	
–	Tétranyque à deux points		Fraise	1 179,20
–	Tétranyque à deux points		Framboise	903,12
–	Tétranyque à deux points		Concombre	264,45
–	Tétranyque à deux points		Fraise	255,84
12	Chrysomèle des racines du maïs	2 120,24	Maïs sucré	2 120,24
13	Noctuelles (vers-gris)*	1 842,25	———	
–	Noctuelles (vers-gris		Carotte	865,92
–	Noctuelles (vers-gris)		Chou	562,35
–	Noctuelles (vers-gris)		Oignon	344,06
–	Noctuelles (vers-gris)		Céleri	69,92
14	Sésie du cornouiller	1 800,00	Pomme	1 800,00
15	Mouche de l'oignon	1 702,40	Oignon	1 702,40
16	Carpocapse de la pomme	1 496,00	Pomme	1 496,00
17	Puceron vert du pommier	1 496,00	Pomme	1 496,00
18	Légionnaire d'automne	1 430,52	Maïs sucré	1 430,52
19	Autres punaises **	1 376,00	Pomme	1 376,00
20	Hoplocampe de la pomme	1 248,00	Pomme	1 248,00
21	Chrysomèle rayée du concombre	1 187,45	Concombre	1 187,45
23	Cochenille virgule du pommier	1 000,00	Pomme	1 000,00
24	Puceron du pois	987,06	Pois	987,06
25	Puceron du maïs	936,65	Maïs sucré	936,65
26	Orthosie verte	896,00	Pomme	896,00
27	Tordeuse du fraisier	843,20	Fraise	843,20
28	Tarsonème du fraisier	813,44	Fraise	813,44
29	Criocère de l'asperge	774,00	Asperge	774,00
30	Tordeuse à bandes obliques	660,00	Pomme	660,00
31	Fausse-teigne des crucifères	645,48	Crucifères	645,48
32	Thrips de l'oignon	416,64	Oignon	416,64
33	Puceron (aphidoidae)	412,38	Laitue	412,38
34	Tordeuse du pommier	224,00	Pomme	224,00
35	Puceron du céleri	182,40	Céleri	182,40
36	Mineuse marbrée	112,00	Pomme	112,00

* comprend plusieurs espèces difficilement identifiables au stade larvaire
** désigne la punaise de la pomme et la lygide du pommier

Figure 1 : Principaux insectes ravageurs classés selon la quantité de matières actives insecticides utilisée annuellement



1) Doryphore de la pomme de terre
2) Mouche de la pomme
3) Punaise terne
4) Mouche du chou
5) Charançon de la prune
6) Pyrale du maïs
7) Tétranyque rouge du pommier
8) Charançon de la carotte

9 à 36) Autres insectes ravageurs identifiés au tableau 2

Figure 2 : Répartition des matières actives utilisées annuellement contre les principaux insectes ravageurs

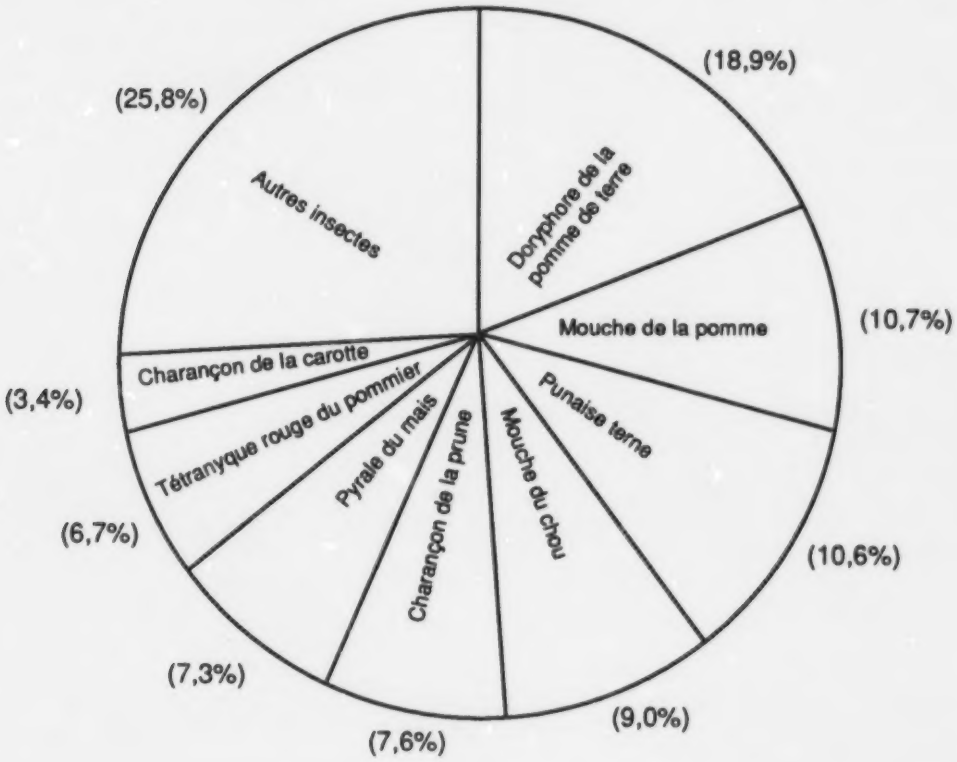


Tableau 4 : Principaux insectes d'importance économique au Québec, dans les cultures en serres

Rang	Noms des ravageurs	Cultures	IER /20
1 Aleurode des serres (M.)	Trialeurodes vaporariorum (Westw.)	Tomate	12,2
2 Aleurode des serres (M.)	Trialeurodes vaporariorum (Westw.)	Concombre	10,0
2 Tétranyque à deux points (M.)	Tetranychus urticae Koch	Concombre	10,0
3 Thrips des petits fruits	Thysanoptera	Tomate	9,8
4 Tétranyque à deux points (M.)	Tetranychus urticae Koch	Tomate	9,0
5 Thrips des petits fruits (M.)	Frankliniella occidentalis (Perg.)	Concombre	8,8
6 Pucerons	Aphidoidae (partim)	Tomate	8,6
6 Pucerons	Aphidoidae (partim)	Piment	8,6
6 Sciarides (F.)	Sciara spp.	Tomate	8,6
7 Pucerons	Aphidoidae (partim)	Radis	7,8
8 Pucerons	Aphidoidae (partim)	Concombre	7,6
8 Pucerons	Aphidoidae (partim)	Laitue	7,6
9 Sciarides (F.)	Sciara spp.	Concombre	7,6

attaquant ces cultures, quatre sont les mêmes que ceux retrouvés dans les serres de cultures maraîchères. Les insectes les plus dommageables rencontrés en serres sur les cultures légumières et ornementales sont

l'aleurode des serres (M.), Trialeurodes vaporariorum (Westw.) ;
le tétranyque à deux points (M.), Tetranychus urticae Koch ;
le thrips des petits fruits (les thysanoptères) ;
les pucerons (aphidoidae).

3.2 Modes alternatifs de répression

Des renseignements concernant onze insectes parmi les ravageurs étudiés seront présentés dans les pages suivantes. Ces informations sont extraites des tomes 3, 4, 5 et 6 de cette étude. Les références citées aux tableaux des sommaires sélectifs se retrouvent aux bibliographies des tomes respectifs (agents biologiques, techniques physiques, méthodes culturales).

3.2.1 Doryphore de la pomme de terre (M.) Leptinotarsa decemlineata (Say)

Le doryphore de la pomme de terre est, sans contredit, l'insecte le plus dommageable dans les agro-écosystèmes québécois. Les résultats obtenus à la première phase de l'étude démontrent que la majeure partie des matières actives appliquées sur l'ensemble des cultures au Québec visent à le réprimer. Le doryphore est à l'origine des premières applications massives d'insecticides en agriculture et a été réprimé de cette façon par toutes les catégories de produits à mesure qu'ils étaient disponibles. Depuis quelques années, on observe, dans certaines régions du Québec, une résistance accrue du doryphore aux insecticides chimiques.

Les adultes du doryphore hibernent dans le sol. Au printemps, les femelles pondent leurs oeufs sur les jeunes feuilles des plants. Les larves sont très voraces et parviennent rapidement à défolier les plants attaqués.

Agents biologiques

Il n'existe pas encore d'alternative biologique dont l'efficacité est établie, pour lutter contre le doryphore. Les antagonistes naturels sont peu nombreux, peu efficaces et n'offrent actuellement pas d'opportunités de manipulation. Les alternatives biologiques à l'étude sont toutefois nombreuses. Elles comprennent les biopesticides, les parasitoïdes exotiques et les prédateurs généralistes. Parmi ces alternatives, celles qui sont le plus près d'évoluer en véritables solutions sont les biopesticides à base d'endotoxines de Bacillus thuringiensis (B.t.). On doit également considérer sérieusement les biopesticides à base du champignon Beauveria bassiana et, à un moindre degré, ceux à base de nématodes Steinernema feltiae (=Neoplectana carpocapsae).

Parmi les biopesticides à base de B.t., le produit à base d'endotoxine du B.t. san diego, destiné à la répression des jeunes larves du doryphore est considéré comme un mode alternatif prometteur. Il a été retenu pour l'étude économique. Le B.t. san diego est homologué au Canada et disponible au Québec.

Techniques physiques

La résistance aux produits chimiques oblige actuellement à l'application d'une régie des cultures visant à ralentir ce processus. Cette régie comprend la rotation des insecticides et le dépistage systématique du ravageur. Les seuils d'intervention (nombre d'insectes par plant) utilisés lors du dépistage font actuellement l'objet de révision afin de les rendre plus facilement utilisables et plus fiables sous les conditions bioclimatiques du Québec (communiqué du RAPQ, 1989). Ceci explique la nécessité d'encourager les études visant à développer et à mettre au point des dispositifs de capture qui serviraient à la fois au dépistage et au piégeage massif du doryphore. Actuellement, l'observation visuelle demeure la seule méthode efficace pour évaluer les dommages de ce ravageur.

Des recherches sur l'utilisation des bâches comme moyen de lutte contre le doryphore sont présentement en cours. Cette technique semble relativement efficace, mais elle s'avère coûteuse et polluante.

Méthodes culturales

La rotation des champs est une pratique culturale utile, dont l'efficacité augmente avec la distance entre les champs alternant et avec l'intervalle avant le retour de la pomme de terre dans un champ. Un labourage printanier ramène les larves à la surface et occasionne une baisse de population importante chez ce ravageur. Afin de bien effectuer ce labour, on conseille l'utilisation du chisel. Le marché potentiel pour cet appareil est discuté dans l'étude économique.

Résistance des végétaux

Le doryphore est affecté par la composition chimique et la pilosité du feuillage, mais ces connaissances n'ont pas encore permis le développement de variétés de pomme de terre à la fois résistantes et commercialisables. Les recherches se poursuivent toutefois dans ce domaine.

Conclusion

Le doryphore est un ravageur cosmopolite, génétiquement très diversifié et capable de réactions évolutives face à toute pression de mortalité soutenue. L'usage de pesticides ou de toute autre mesure de répression intense du ravageur a peu de chances de maintenir un niveau élevé d'efficacité à long terme. La lutte intégrée axée sur des interventions multidirectionnelles est donc l'approche la plus prometteuse.

Tableau 5 : DORYPHORE DE LA POMME DE TERRE, Leptinotarsa decemlineata (Say)
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Pathogènes : produits dérivés du Bacillus thruringiensis						
B.t. thuringiensis souche peu spécifique	spores plus ß-exotoxine ; interfère avec la synthèse d'ARN chez les animaux	biopesticide bactériologique ; intervention curative d'effet non rémanent	efficacité établie avec le parasitoïde Edovum, et plusieurs insecticides et fongicides ; sécurité incertaine	formules expérimentales en Amérique ; produit industriel dans les pays de l'Est (Bitoxibacillin)	sécurité incertaine ; à considérer pour usage limité	Boiteau, 88 ; Boiteau et Dunphy, 85 ; Cantwell et al., 83, 85b ; Duchesne et Boiteau, 87 ; Jaques et Laing, 87 ; Martel et Belcourt, 85 ; Pitblado, 85b ; Sears et Mcgraw, 87
B.t. tenebrionis souche spécifique des coléoptères	spores plus δ-endotoxine ; paralysie gastrique et septicémie	biopesticide bactériologique ; intervention curative d'effet non rémanent	non connue spécifiquement, probablement identique aux autres dérivés du B.t.	formules expérimentales	progrès rapides attendus ; homologation probable	Krieg et al., 83 ; Langenbruch et al., 85 ; McPherson et al., 88
B.t. san diego souche spécifique des chrysomèles	spores plus d-endotoxine ; paralysie gastrique et septicémie	biopesticide bactériologique ; intervention curative d'effet non rémanent	non connue spécifiquement, probablement identique aux autres dérivés du B.t.	formule commerciale disponible (M-One)	homologation au Canada; progrès rapides attendus	Boiteau et Dunphy, 87 ; Duchêsne, 87 ; Herrnstadt et al., 86 ; Jaques et Laing, 87 ; Thompson et al., 87
II. Pathogènes : champignons						
Beauveria bassiana pathogène non spécifique	libération de toxines suivie de mycose	biopesticide mycologique ; intervention curative ou inoculative ; possibilité d'effet épidémique	variable avec les fongicides, insecticides et herbicides ; applicable en combinaison avec certains insecticides	formules commerciales et expérimentales en Amérique ; produit industriel dans les pays de l'Est (Boverin)	améliorations techniques nécessaires ; homologation éventuelle à considérer	Anderson et Roberts, 83 ; Bajan, 80 ; Boiteau, 88 ; Cantwell et al., 86 ; Duchêsne et Boiteau, 87 ; Hajek et al., 87 ; Loria et al., 83 ; Martel et Belcourt, 85 ; Roberts et al., 80 ; Samsinakova et Kalalova, 81 ; Wilding, 83
Metarrhizium anisopliae souche spécifique	destruction par mycose	biopesticide mycologique ; intervention curative ou inoculative	probable avec certains insecticides ; peu compatible avec fongicides	état expérimental	lutte intégrée	Fargues, 85
III. Pathogènes : microsporidies						
Nosema decemlineata pathogène naturel spécifique	maladie chronique	agent naturel de mortalité	partielle avec des insecticides chimiques	état expérimental	lutte intégrée ; répression naturelle	Hostounsky, 84 ; Lipa, 68

Tableau 5 : DORYPHORE DE LA POMME DE TERRE, Leptinotarsa decemlineata (Say) Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte (suite)

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
IV. Nématodes						
Steinernema feltiae (=Neoplectana carpocapsae) pathogène non spécifique	complexe infectieux ver-bactérie ; septicémie	biopesticide nématologique ; intervention curative ou inoculative ; possibilité d'effet rémanent	comparable à celle des pathogènes	formules commerciales disponibles aux Etats-Unis	améliorations techniques nécessaires ; homologation éventuelle à considérer	Danilov, 78 ; Duchêsne et Boiteau, 87 ; MacVean et al., 82 ; Poinar, 79 ; Toba et al., 83
V. Parasitoïdes						
Edovum putleri hyménoptère eulophide introduit de Colombie, Amérique du Sud	destruction par parasitisme et piqûres de ponte	lâchers inondatifs ; lutte curative durant la période de ponte	limitée avec les insecticides chimiques ; établie avec certains biopesticides et herbicides	élevé à Guelph, Ont. et dans plusieurs laboratoires en Amérique	potentiel incertain ; incapable de survivre à l'hiver, peu efficace au-dessous de 20°C	Cantwell et al., 85b ; Jansson et Lashomb, 88 ; Jansson et al., 87 ; Lashomb et al., 87 ; Obrycki et al., 85, 86, 87 ; Ruberson et al., 87 ; Schroeder et al., 85 ; Sears, 87 ; Williams, 87
Myiopharus (= Doryphorophaga) doryphorae diptère tachinide indigène	destruction par parasitisme	manipulation indirecte par des mesures de protection	limitée avec les insecticides chimiques	normalement présent dans les champs ; méthode d'élevage connue	mesure complémentaire ; lutte intégrée ; incapacité à réagir rapidement	Sears, 87 ; Horton et Capinera, 87

Tableau 6 : DORYPHORE DE LA POMME DE TERRE, Leptinotarsa decemlineata (Say) Sommaire sélectif des techniques physiques de répression

Technique	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
Barrières						
Bâches pellicules plastiques	recouvrement des plants ; interférence avec la ponte	réduction des populations	échauffement du sol, de la température ; conservation de l'humidité ; protection contre le gel ; coûteux à grande échelle ; augmentation des mauvaises herbes ; polluants	commercialisation en Amérique ; expérimentation au Québec	efficacité à démontrer	Duchêsne (Comm. pers.)

Tableau 7 : DORYPHORE DE LA POMME DE TERRE, Leptinotarsa decemlineata (Say)
Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression

Méthode	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Compagnonnage	masque les odeurs de la plante-hôte par d'autres espèces végétales	cultiver des rangées de gros oignons à tous les 6 mètres parmi les plants ; utiliser aussi des plants d'utica, de lin et de rainfort	méthode efficace ; peut rendre la récolte difficile ; nécessite une compétence dans l'aménagement des cultures	utilisé par certains agriculteurs au Québec	études supplémentaires requises	Guet, 85 ; Hill, 75
II. Temps des semis	réduit la nécessité de recourir à plusieurs traitements anti-parasitaires car on réduit la période d'infestation	planter plus tard dans la saison	capacité d'entreposage à vérifier	technique utilisée présentement au Québec	efficacité à démontrer	Boiteau, 87, 88
III. Rotation	favoriser la dispersion des insectes par l'absence d'une plante-hôte	éviter la rotation avec d'autres solanacées : tomates et aubergines ; rotations recommandées : 2 ans, seigle, sarrasin ; 3 ans, maïs, feuillus et légumineuses	efficace en début de saison	technique utilisée présentement au Québec	technique à publiciser pour plus grande utilisation ; technique de base de toute agriculture	Guet, 85
IV. Labour	éviter l'émergence des insectes par un enfouissement profond ; diminution des populations en tuant un certain nombre d'adultes	labourer en profondeur	efficace ; en enfouissant adultes plus profondément, étalement de la période d'apparition des adultes au printemps	technique utilisée présentement au Québec	à intégrer à d'autres méthodes de lutte	Wright, 84
V. Paillis	ralentir ou inhiber la descente des larves ou la remontée des adultes	utiliser un paillis suffisamment épais et planter en surface	nécessite une étape supplémentaire ; aide à la croissance des plants en général et à la répression des mauvaises herbes	à l'essai sur parcelles expérimentales au Québec	à intégrer à d'autres méthodes de lutte	Cox, 88
VI. Répression manuelle	diminuer la population d'insectes ravageurs	ramasser les adultes avant la période de ponte ainsi que les oeufs pondus	bonne efficacité sur de petites superficies	technique utilisée par certains agriculteurs biologiques	non réaliste pour de grandes superficies	Cox, 88 ; Guet, 85
VII. Fertilisation	les plants en santé résistent mieux aux ravages	implanter la culture un an ou deux après l'engrais vert	efficace	technique utilisée présentement au Québec	recherches nécessaires	

Tableau 8 : DORYPHORE DE LA POMME DE TERRE, Leptinotarsa decemlineata (Say)
Résistance des végétaux

Mécanisme de résistance	Principe d'action	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Chimique					
Glycoalcaloïdes présents dans le feuillage : alpha tomatine, démissine, commersonine et les leptines	mortalité des larves ; augmentation de la durée larvaire ; diminution du nombre d'oeufs pondus	le contenu de glycoalcaloïde de la pomme de terre peut varier en qualité et en quantité dans une même variété selon la photopériode, l'intensité de lumière, l'humidité du sol et le stade de développement de la plante il arrive que le niveau de glycoalcaloïdes du feuillage soit proportionnel à celui des tubercules et entraîne des troubles gastro-intestinaux aux consommateurs	les lignées montrant une résistance élevée sont : S. berthaultii S. chacoense S. pinnatisectum S. tarijense	ces espèces à haute résistance doivent recevoir la plus grande attention lors de l'élaboration de programmes de sélection	Radcliffe, 82 ; Forgash, 85 ; Carter, 87 ; Schreiber, 57 ; Schreiber et al., 57 ; Sinden et al., 80 ; William et al., 87 ; Sinden et al., 80, 86 ; Sturckow et Low, 61 ; Gregory et al., 80 ; Mcollum et Sinden, 79 ; Osman et al., 76 ; Crouk et al., 74 ; Sinden et Webb, 74 ; Melvill et al., 85 ; Stephen et al., 86 ; Tingey et Sinder, 82 ; Casagrande, 82 ; Wright et al., 85 ; Deahl et Sinden, 87 ;
II. Physique					
Trichomes glandulaires	diminution du poids des adultes	la présence de trichomes glandulaires sur le feuillage aurait l'avantage de diminuer les risques que les fortes concentrations glycoalcaloïdes entraînent			Sanford et al., 84 ; Willimet, 33
III. Génétique					
Plantes hybrides avec Bacillus thuringiensis	introduction dans les plantes d'Agrobacterium, qui vont sécréter des toxines de B.t.	pas de produits à appliquer car ils sont produits par la plante	lignées disponibles pour la recherche	état expérimental avancé	

3.2.2 Mouche de la pomme (F.) Rhagoletis pomonella (Walsh)

La mouche de la pomme est le principal ravageur en verger de pommiers dans le nord-est des Etats-Unis et au Canada. Cette espèce est indigène et univoltine. Les dommages sont causés en partie par la femelle lors de la ponte, mais principalement par les larves, après l'éclosion des oeufs qui creusent des galeries dans la chair de la pomme.

Agents biologiques

Les alternatives biologiques recensées sont les parasites Biosteres melleus, qui attaquent les larves, et Patasson conotracheli, qui attaquent les oeufs. Aucun prédateur d'importance n'a été signalé. Il devient nécessaire d'encourager la recherche, à long terme, d'ennemis naturels puisqu'ils ne sont pas encore tous inventoriés.

Techniques physiques

Les pièges les plus populaires en Amérique du Nord, pour le dépistage, sont le panneau jaune englué de marque « Pherocon AM » et un piège visuel, la sphère rouge. Dans les programmes futurs, les stations de recherches prévoient se servir davantage de la sphère rouge dans les vergers de pommiers en Amérique, en particulier au Québec. Le piégeage massif sur de petites superficies de verger est à développer au Québec. La sphère rouge est alors utilisée.

L'usage de phéromones d'oviposition de la mouche et des substances attractives volatiles de la pomme est à reconsidérer et on se doit de poursuivre les essais en vergers de pommiers.

Méthodes culturales

Sur de petites superficies de vergers de pommiers, la destruction systématique des fruits infestés contribue à l'élimination des larves et à la répression partielle des populations de la mouche de la pomme. L'élimination des aubépines en périphérie est une autre méthode de répression considérée efficace.

Conclusion

Les pièges pour le dépistage de la mouche du chou sont les modes alternatifs de lutte les plus utiles dans les vergers au Québec. Cependant, aucune nouvelle alternative aux pesticides n'est actuellement suffisamment au point pour permettre d'entrevoir une prochaine mise en marché.

Tableau 9 : MOUCHE DE LA POMME, Rhagoletis pomonella (Walsh)
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
Parasitoïdes						
Biosteres melleus	destruction par parasitisme	agent naturel de mortalité	non connue	incidence naturelle	contrôle naturel	Davidson et Lyon, 87
Patasson conotracheli	destruction par parasitisme	agent naturel de mortalité	non connue	incidence naturelle	contrôle naturel	Davidson et Lyon, 87

Tableau 10 : MOUCHE DE LA POMME, Rhagoletis pomonella (Walsh)
Sommaire sélectif des techniques physiques de répression

Technique	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Pièges visuels, panneaux rectangulaires collants						
Pherocon AM panneaux jaunes englués	attrait visuel combinaison avec appât alimentaire (incorporé commercialement)	pommeraies ; dépistage surtout des adultes immatures ; seuil économique	efficacité pour dates d'arrivée d'adultes immatures	commercialisation en Amérique (Bio-Contrôle, Québec)	utilisation à la baisse en Amérique et au Québec	Aliniazee et al., 87 ; Neilson et al., 76, 81 ; Prokopy et Hauschild, 79 ; Reissig, 74 ; Reissig et Tette, 79 ; Reissig et al., 85 ; Swift, 82
II. Pièges collants de forme sphérique						
Sphères rouges en bois ou en plastique	attrait visuel ou combinaison avec appât alimentaire	pommeraies ; dépistage et suppression des adultes	efficacité pour déterminer l'activité des adultes matures et le nombre de traitements ; alternative dispendieuse pour la suppression	commercialisation en Amérique (Bio-Contrôle, Québec)	utilisation en Amérique et au Québec ; à développer au Québec : piégeage massif sur petites superficies ; phéromones d'oviposition ; substance attractive volatile de la pomme	Aliniazee et al., 87 ; Drummond et al., 84; Johnson, 83 ; Kring, 70 ; Moore, 69 ; Prokopy, 68, 75, 77 ; Prokopy et Hauschild, 79 ; Reissig, 75a, b ; Reissig et al., 85 ; Stanley et al., 87 ; Neilson et al., 81 ; Fein et al., 82 :
III. Pièges non collants						
Multi-pher pièges de plastique ; non collants	attraction par substance volatile	pommeraies ; dépistage et suppression	lutte intégrée, détermination et diminution des traitements insecticides	expérimentation Agriculture Canada, Québec	alternatives à démontrer	Vincent et Letendre, 88

Tableau 11 : MOUCHE DE LA POMME, Rhagoletis pomonella (Walsh)
Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression

Méthode	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
Hygiène	détruire les sites de nutrition et de reproduction	ramasser les fruits déclassés, infestés et les détruire	utiliser les fruits pour le compostage ; demande beaucoup de temps	pratiquée sur de petites superficies par des agrobiologistes	requiert le développement d'outillage spécialisé pour les grandes superficies	enquête chez les agro-biologistes

3.2.3 Punaise terne (F.)
Lygus lineolaris (P. de B.)

La punaise terne est le ravageur miride polyphage le plus répandu en Amérique du Nord. Lorsqu'abondante, elle peut affecter le rendement de différentes cultures, principalement les fraisières, les framboisières et les pommeraies.

Agents biologiques

Il n'existe pas d'alternative biologique prouvée efficace contre la punaise terne et la perspective d'en voir se développer est lointaine. Cependant, plusieurs espèces de parasitoïdes oophages et larviphages existent et il est possible d'envisager d'augmenter leur impact par la manipulation. L'araignée prédatrice et les mites érythraéides parasites, récemment découvertes, suggèrent que les ennemis naturels de la punaise ne sont pas encore tous inventoriés, ce qui est probable étant donné la distribution très étendue et l'extrême polyphagie de la punaise. Par ailleurs, la recherche d'ennemis exotiques demeure une avenue potentiellement utile à long terme. Dans une perspective d'avenir, il devient nécessaire de développer la lutte intégrée favorisant l'activité des parasitoïdes indigènes et d'envisager des programmes d'importation d'agents exotiques par l'intermédiaire du Commonwealth Institute of Biological Control (CIBC).

Techniques physiques

Les pièges visuels collants, commercialisés ou non, du type panneau rectangulaire blanc, sont les outils de dépistage les plus employés en Amérique du Nord et présentement utilisés au Québec par les réseaux de dépistage. Le seuil économique établi en verger de pommier, pour la punaise terne, est plus ou moins fiable. Des recherches supplémentaires sont requises afin de développer des méthodes de dépistage plus efficaces.

Méthodes culturales

Aucune méthode culturale ne vise spécifiquement la répression de la punaise terne. Cependant, il est possible d'utiliser les connaissances actuelles sur l'écologie de cet insecte pour tenter de contrôler la croissance des populations locales. L'entretien du site s'avère une méthode préventive efficace. Il est prouvé que la destruction des plantes-hôtes alternatives et des débris de culture réduisent considérablement les populations hibernantes.

Conclusion

Aucun mode alternatif de répression de la punaise terne est actuellement assez avancé pour entrevoir une mise en marché dans les années qui viennent.

Tableau 12 : PUNAISE TERNE, Lygus lineolaris (P. de B.)
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Parasitoïdes et ectoparasites						
Anaphes iole hyménoptère mymaride oophage de Lygus ; indigène	destruction par parasitisme	lâchers inoculatifs ou inondatifs ; protection	limitée avec les insecticides chimiques ; variable avec autres pesticides	faune indigène	efficacité à démontrer ; lutte intégrée	Graham et al., 86 ; Jackson et Graham, 83
Polynema pratensiphagum hyménoptère mymaride oophage de Lygus ; indigène	destruction par parasitisme	lâchers inoculatifs ou inondatifs ; protection	limitée avec les insecticides chimiques ; variable avec autres pesticides	faune indigène	efficacité à démontrer ; lutte intégrée	Sohati et al., (non publié)
Peristenus spp. hyménoptères braconides spécifiques des Lygus spp. ; espèces indigènes et exotiques	destruction par parasitisme	introduction d'espèces exotiques ; lâchers inoculatifs ou inondatifs	limitée avec les insecticides chimiques ; variable avec autres pesticides	faune indigène ; espèces exotiques d'Europe connues	efficacité à démontrer ; lutte intégrée	Craig et Loan, 84, 87
Exthmelus mirioiphagus hyménoptère mymaride oophage de Lygus ; indigène	destruction par parasitisme	lâchers inoculatifs ou inondatifs ; protection	limitée avec les insecticides chimiques ; variable avec autres pesticides	faune indigène	efficacité à démontrer ; lutte intégrée	Sohati et al., (non publié)
Lasioerythraeus johnstoni acarien érythraéide polyphage, commun sur Lygus spp. ; indigène au Mississipi	destruction par ectoparasitisme à l'état larvaire ou prédation à l'état deutonymphal	lâchers inoculatifs ou inondatifs ; protection	limitée avec les insecticides et acaricides chimiques	faune indigène du sud des Etats-Unis	efficacité à démontrer ; lutte intégrée	Welbourne et Young, 87 ; Young et Welbourne, 87
II. Prédateurs						
Oxyopes salticus araignée polyphage commune en agro-écosystèmes	destruction par prédation	lâchers inoculatifs ou inondatifs ; protection	peu compatible avec les insecticides chimiques	faune indigène	efficacité à démontrer ; lutte intégrée	Young et Lockley, 86

Tableau 13 : PUNAISE TERNE, Lygus lineolaris (P. de B.)
Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression

Méthode	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. **Hygiène** (fruits)	élimine les sites de nutrition, de reproduction et de ponte	élimination des mauvaises herbes, légumineuses et fruits infestés	nécessite une opération supplémentaire ; la destruction de certains sites peut affecter les prédateurs et l'équilibre écologique du site	déjà pratiquée par les agriculteurs	peut être difficile à réaliser	Vincent (comm. pers.)
		élimination des plantes-hôtes autour des jardins, vergers et fraisières	nécessite une opération supplémentaire ; peut augmenter la croissance des plantes	déjà pratiquée par les agriculteurs	technique restreinte aux arbres et arbustes	Vincent (comm. pers)
II. **Hygiène** (légumes)	élimine les sites de nutrition, de reproduction et de ponte	élimination des mauvaises herbes en bordure des champs	nécessite une opération supplémentaire ; peut nuire aux ennemis naturels	déjà pratiquée par les agriculteurs	efficacité à démontrer, recherche nécessaire	Boivin (comm. pers.)

3.2.4 Mouche du chou (F.)
Delia radicum (L.)

La mouche du chou, originaire d'Europe, est maintenant répandue partout dans l'hémisphère nord. Le cycle annuel au Québec comprend deux générations complètes et une troisième plus ou moins complète selon la lignée, les conditions climatiques et la nature du sol. Les larves de la mouche du chou se nourrissent des racines du plant qu'elles affaiblissent et font mourir. Les larves sont dommageables même en faible densité sur le feuillage, car elles diminuent alors la valeur esthétique des crucifères destinées au marché de l'alimentation.

Agents biologiques

Aucune alternative biologique efficace n'est actuellement disponible ou sérieusement à l'essai pour la répression de la mouche du chou. Des efforts encore limités de recherche d'alternatives ont porté sur la possibilité du développement de biopesticides à base de champignons ou du complexe némato-bactérien Steinernema feltiae (=Neoplectana carpocapsae). Plusieurs antagonistes, prédateurs et parasites, sont connus mais leur manipulation n'a pas été sérieusement considérée.

Techniques physiques

La technique physique de dépistage la plus avantageuse pour réprimer cet insecte au stade adulte est le piège conique muni d'une substance attractive. Le développement et la mise en pratique de cette technique de dépistage est nécessaire afin de l'introduire dans les programmes de lutte intégrée au Québec.

L'utilisation de bâche permet d'interférer avec la ponte à la base des plants. Son efficacité pour la répression reste cependant à démontrer. Les disques-abris sont intéressants comme technique alternative, mais ils constituent des obstacles mécaniques importants lorsqu'employés sur de grandes superficies.

Méthodes culturales

La rotation des cultures a été suggérée comme méthode culturale de répression (Guet, 1985). Cependant, les mouches sont mobiles et fréquentent la végétation de bordure pour s'accoupler et se nourrir. De plus, elles peuvent se développer sur les cultures avoisinantes et migrer au stade adulte. La destruction des plantes-hôtes secondaires peut néanmoins contribuer à réduire considérablement les populations locales.

Retarder les semis peut permettre d'éviter le pic de ponte en début de saison. Cette pratique est cependant incompatible avec la production de primeurs. Un labour profond en fin de saison peut exposer les pupes et ainsi diminuer les populations locales hibernantes.

Conclusion

Malgré certaines recherches, aucun mode alternatif de répression de la mouche du chou n'est actuellement dans un état d'avancement qui permettrait d'entrevoir une mise en marché prochaine.

Tableau 14 : MOUCHE DU CHOU, Delia radicum (L.)
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte

Agent	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
Nématodes						
Steinernema feltiae (=Neoplectana carpocapsae) pathogène peu spécifique	complexe infectieux ver-bactérie ; septicémie	biopesticide nématologique ; intervention curative ou inoculative ; possibilité d'effet rémanent	non connus	formules commerciales disponibles aux Etats-Unis	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Morris, 85

Tableau 15 : MOUCHE DU CHOU, Delia radicum (L.)
Sommaire sélectif des techniques physiques de répression

Technique	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Pièges à eau						
Pièges jaunes	bassin d'eau ; détergent bactéricide ; attrait visuel et olfactif ; phéromone	dépistage	nécessité d'un apport constant en eau ; difficulté d'identification des spécimens	technique largement utilisée	—	Coaker, 79 ; Vincent et Stewart, 81 ;
II. Pièges visuels						
Panneaux de couleurs	réflexivité de la couleur ; substances attractives chimiques	dépistage avec seuil économique	difficulté d'identification des Anthomyiides ; peu coûteux ; faciles d'utilisation	utilisation commerciale ; dépistage	lutte intégrée ; complexité d'emploi pour les producteurs	Harris et Miller, 83 ; Vernon, 86 ; Vernon et Bartel, 85 ; Vernon et Borden, 83a, b ; Matsumoto, 70
III. Pièges coniques						
Pièges de moustiquaire	substance attractive : bisulfide	dépistage		Etats-Unis	lutte intégrée ; développement nécessaire	Eckenrode et al., 75 ; Sears et Dufault, 86 ;
IV. Pellicules plastiques						
Paillis flottants (Reemay et Agronet) ; poreux	dérouleuse ; reposent sur les plantes, sans arceaux ;	utilisation sur les crucifères	échauffement du sol, de la température ; conservation de l'humidité ; récoltes plus hâtives ; protection contre le gel et les insectes ; coûteux à grande échelle ; augmentation des mauvaises herbes ; polluants	commercialisation en Amérique ; (Plasti-Tech Culture Inc., Québec)	augmentation du nombre de cultures ; efficacité à démontrer ; coûteux	Millar et Isman, 88
V. Disques-abris						
Disques de caoutchouc	répulsion (benzyl benzoate)	protection des plants	plus grande efficacité que les disques de goudron ; favorisation de la présence des prédateurs ; coûteux ; obstacles mécaniques (encombrants) ; utilisation sur petites superficies	commercialisation en Amérique	—	Coaker, 79 ; Skinner et Finch, 86 ;
Disques de carton goudronné	barrière	protection des plants ; prévention de la ponte	économiques ; rigides pour ajustement ; peu réalistes sur grandes superficies	commercialisation en Amérique	—	Coaker, 79 ; Skinner et Finch, 86 ;

Tableau 16 : MOUCHE DU CHOU, Delia radicum
Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression

Méthode	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Compagnonnage	camouflage des odeurs de la plante-hôte	pour crucifères : la sauge, le romarin et le thym ; pour framboises et roses : la tanasie vulgaire	méthode efficace ; peut rendre la récolte difficile ; nécessite une compétence dans l'aménagement des cultures	pas utilisée au Québec	nécessite plus de recherche sur l'efficacité de diverses plantes compagnes	
II. Temps des semis	éviter les périodes d'abondance de la mouche	choisir les dates de plantation ; fin-mai, mi-juin doivent être évités	perte de la primeur ; réduit la période de susceptibilité des jeunes plants	pas utilisée au Québec	non réaliste pour producteurs de primeurs	Guet, 85 ; Sauriol (comm.pers.)
III. Rotation	favoriser la dispersion des insectes par l'absence de la culture-hôte	ne cultiver les crucifères sur la même parcelle qu'une année sur cinq	efficacité réduite par la grande mobilité de la mouche du chou	rotation déjà exercée pour réprimer des maladies	peu efficace comme méthode contre la mouche du chou	Guet, 85 ; Sauriol (comm.pers.)
IV. Régie du sol	méthode de prévention	modification de la structure du sol par un apport de compost	meilleure rétention d'eau ; symptômes de stress d'eau moins évident	utilisée au Québec	efficacité à démontrer	Boivin (comm. pers.)
V. Bâche	interférer avec la ponte	étendre une pellicule synthétique	les géotextiles augmentent la croissance des mauvaises herbes ; gardent la culture au chaud au printemps ; polluants et coûteux	utilisée au Québec et aux Etats-Unis ; commercialisée au Québec	en voie de développement ; efficacité forte	Metcalf et Flint, 62 ; Sauriol (comm. pers.) ; Boivin (comm. pers.)
VI. Hygiène	éliminer les aires de concentration hivernales	destruction des débris de culture et répression de la moutarde dans les bordures et les champs avoisinants	nécessite une étape supplémentaire limitée par la grande mobilité de la mouche	pratiquée par certains agriculteurs du MAB ; efficacité forte	efficacité à démontrer	

3.2.5 Charançon de la prune (M.) Conotrachelus nenuphar (Hbst.)

Le charançon de la prune, indigène et endémique dans les régions fruitières du nord-est de l'Amérique du Nord, complète une seule génération par année au Québec. L'adulte cause des dommages non seulement lors de la ponte des oeufs mais, aussi, lorsqu'il s'alimente des bourgeons, des pétales, des nouvelles feuilles et des jeunes pommes.

Agents biologiques

La répression biologique de ce curculionide s'effectue principalement par des parasites et un champignon. Parmi les parasites, notons la guêpe ichneumone, Tersilochus conotracheli (Riley), qui attaque les larves dans le fruit, et le parasite, Nealiolus curculionis (Fitch). Le Patasson conotracheli (Girault), qui attaque les oeufs, a aussi une certaine importance. Les adultes et les larves sont aussi attaqués par le champignon Metarrhizium anisopliae Metch.

Techniques physiques

Le prélèvement du charançon en vergers de pommiers, par la technique du battage, s'avère utile pour déterminer ses différentes phases de comportement. Cette technique de dépistage, longue et fastidieuse, est peu efficace pour détecter les faibles densités de population et est, de plus, peu sélective et dommageable pour les arbres fruitiers.

A ce jour, aucun modèle de piège n'a été mis au point pour capturer le charançon, ce qui rend difficile sa détection. L'inspection visuelle et le battage demeurent pour l'instant les seules techniques utilisées pour dépister son activité de nutrition et de ponte. Il devient nécessaire de développer et de mettre au point des dispositifs de capture qui serviraient à la fois au dépistage et au piégeage massif.

Méthodes culturales

La destruction des pommes infestées est la méthode préventive la plus recommandée pour éliminer un bon nombre d'espèces de ravageurs de la pomme. Malheureusement, peu de pomiculteurs envisagent d'adopter une telle pratique lorsque les vergers de pommiers occupent de grandes superficies.

Conclusion

Aucun mode alternatif de répression du charançon de la prune ne permet actuellement d'entrevoir une prochaine mise en marché.

Tableau 17 : CHARANÇON DE LA PRUNE, Conotrachelus nenuphar (Hbst.) Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Pathogènes : champignons						
Metarrhizium anisopliae	destruction par mycose	biopesticide mycologique ; intervention curative ou inoculative	probable avec certains insecticides ; peu compatible avec fongicides	formules expérimentales	développements nécessaires ; efficacité probable dans certaines conditions	Riba et al., 83
II. Parasitoïdes						
Tersilochus conotracheli Guêpe ichneumone	destruction par parasitisme	introduction ; lâchers inoculatifs	limitée avec les insecticides chimiques et pathogènes non spécifiques	utilisé en recherche	mise au point de techniques efficaces pour le dépistage et la suppression	Leblanc et al., 81
Nealiolus curculionis	destruction par parasitisme	introduction ; lâchers inoculatifs	limitée avec les insecticides chimiques et pathogènes non spécifiques			
Patasson conotracheli	destruction par parasitisme	incidence naturelle	non connue	incidence naturelle	contrôle naturel	Davidson et Lyon, 87

Tableau 18 : CHARANÇON DE LA PRUNE, Conotrachelus nenuphar (Hbst.) Sommaire sélectif des techniques physiques de répression

Technique	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
Prélèvement par battage						
Entonnoir de Steiner, cône et cerceau plastifié	récolte par frappage des branches	dépistage des phases de développement	nécessite beaucoup d'échantillons ; peu sélectif ; endommage les arbres	utilisée en recherche	mise au point de techniques efficaces pour le dépistage et la suppression	Leblanc et al., 81

Tableau 19 : CHARANÇON DE LA PRUNE, Conotrachelus nenuphar (Hbst.)
Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression

Méthode	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Labourage	détruit les larves et les pupes dans leurs cellules dans le sol	labourer le sol autour des arbres à la fin du printemps ou au début de l'été	attention à la profondeur, dangereux pour la racine des arbres ; très onéreux en temps sur de grandes superficies	méthode pratiquée sur de petites superficies par certains agrobiologistes	peu réaliste pour de grandes superficies ; efficacité à démontrer	
II. Emondage et fertilisation	assure une bonne croissance et une résistance accrue aux ravageurs fruitiers	émonder pour que le maximum de lumière puisse pénétrer et fertiliser	préventif seulement ; favorise la croissance de l'arbre	déjà pratiquée dans les vergers dans divers buts	efficacité à démontrer	
III. Hygiène	éliminer les sites de nourriture, de ponte et de reproduction	détruire (brûler) les fruits infestés ; éliminer les hôtes alternatifs	requiert beaucoup de temps ; efficacité forte	prouvée expérimentalement aux Etats-Unis	peu réaliste comme solution pour les grands vergers ; requiert le développement de machines spécialisées	
IV. Répression manuelle	réduction de la population	secouer l'arbre tôt le matin pour faire tomber les insectes et les recueillir sur une toile afin de les détruire	les arbres doivent être petits et peu nombreux	testée expérimentalement à McGill	efficacité faible ; très peu intéressant	

3.2.6 Pyrale du maïs
Ostrinia nubilalis (Hbn.)

La pyrale du maïs est le plus important ravageur du maïs dans l'est du Canada. La larve hiberne dans les tiges, puis se transforme en chrysalide au printemps. L'adulte émerge au mois de juin. Toutes les parties végétatives des plants de maïs sont attaquées par la larve de ce lépidoptère. Les dégâts sont relativement plus importants dans le maïs sucré, puisque celui-ci est destiné à la consommation humaine.

Agents biologiques

Les antagonistes naturels associés à la pyrale semblent avoir peu d'impact, sauf la microsporidie spécifique, Nosema pyrausta, qui semble par ailleurs affecter négativement les parasitoïdes spécifiques à la pyrale. Le recours aux lâchers inondatifs du parasitoïde Trichogramma maidis a donné des résultats positifs en Europe et aux Etats-Unis. Cet insecte auxiliaire est présentement commercialisé et largement utilisé en Europe. Ce mode de contrôle a été retenu pour l'étude économique.

Diverses possibilités de développement de biopesticides à base de B.t. ou de pathogènes fongiques à large spectre existent et sont à l'étude et à différents stades d'avancement. L'usage de formulations granulaires à base du complexe spores-cristal du B.t. kurstaki a été prouvé efficace comme alternative biologique de répression de la pyrale lors d'essais en champs. Plusieurs formules commerciales sont présentement disponibles ; cependant, les formules et les techniques d'application doivent être ajustées pour la pyrale. Le B.t. kurstaki a été considéré dans l'étude de marché.

Une approche qui ne semble pas avoir été examinée est celle des complexes némato-bactériens. La phase endophytophage de la pyrale offre possiblement un créneau d'intervention avec un biopesticide à base de Steinernema feltiae (=Neoplectana carpocapsae), étant donné l'efficacité démontrée de ce complexe contre les perceurs.

Techniques physiques

Les pièges collants à phéromone sexuelle de synthèse et les pièges lumineux sont les deux principales techniques physiques utilisées pour dépister la pyrale du maïs. Le piège collant cartonné englué « P.C.R. » semble être plus sélectif pour la pyrale que les pièges collants et à phéromones déjà commercialisés. Ce piège semble prometteur, en particulier dans les programmes de lutte intégrée. Sa commercialisation au Québec est prévue au printemps 1990.

Méthodes culturales

Des méthodes culturales tels un labour profond et la destruction des résidus de culture contribuent à la répression de la pyrale du maïs en détruisant jusqu'à 75% des larves hibernantes. Ceci n'élimine cependant pas la possibilité d'une infestation subséquente. Un problème majeur avec la pyrale est la grande mobilité des adultes, rendant difficile l'application de toute mesure préventive.

Résistance des végétaux

La création de variétés résistantes à la pyrale fait l'objet d'efforts considérables dans divers pays. Un des facteurs chimiques responsables de la résistance à la pyrale du maïs est le DIMBOA (2,4-dihydroxy-7-méthoxy-1,4-benzoxazin-3-one) ; l'élévation de sa concentration dans les tissus a permis de développer plusieurs hybrides qui, sans être résistants à la pyrale, lui sont défavorables. Cependant, des variétés résistantes de maïs-grain ont été développées. Plusieurs hybrides présentement commercialisés sont suffisamment résistants pour rendre non rentable l'utilisation d'insecticides. Dans le cas du maïs sucré, des hybrides sélectionnés pour la résistance à la pyrale sont à l'essai. Les possibilités de développement de variétés résistantes au Québec ont été examinées lors du survol de marché.

Conclusion

Parmi les modes de répression cités, quatre semblent prometteurs pour la réduction des ravages de la pyrale. Il s'agit du biopesticide B.t. kurstaki, du parasitoïde Trichogramma maidis (le piège « P.C.R. » pour le dépistage) et des variétés résistantes de maïs-grain.

Tableau 20 : PYRALE DU MAÏS, Ostrinia nubilalis (Hbn.)
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Pathogènes : produits dérivés du Bacillus thuringiensis						
B.t. kurstaki pathogène de lépidoptères	spores plus ß-exotoxine ; paralysie gastrique et septicémie	biopesticide bactériologique ; intervention curative d'effet non rémanent	probable avec plusieurs pesticides chimiques, et les auxiliaires	plusieurs formules commerciales disponibles (Bactur, Dipel, Thuricide)	améliorations nécessaires ; formules et techniques d'application à ajouter pour la pyrale	Langenbruch, 81 ; Lynch et al., 77, 80 ; Mohd-Salleh et Lewis, 82a, 83 ; Navon et Melamed-Madjar, 86 ; Nolting et Poston, 82
B.t. thuringiensis souche peu spécifique	spores plus ß-exotoxine ; interfère avec la synthèse d'ARN chez les animaux	biopesticide bactériologique ; intervention curative d'effet non rémanent	probable avec plusieurs pesticides chimiques ; non connue avec les auxiliaires	formules expérimentales en Amérique ; produit industriel dans les pays de l'Est (Bitoxibacillin)	sécurité incertaine ; efficacité en champ à démontrer ; développements nécessaires	Mohd-Salleh et Lewis, 82b, 83
II. Pathogènes : virus						
AcMNPV virus à polyhédrose d'Autographa californica pathogène de lépidoptères	destruction par virose	biopesticide virologique ; intervention curative ou inoculative	probable avec plusieurs pesticides chimiques, et les auxiliaires	formules expérimentales	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Lewis et Johnson, 82 ; Morris et al., 86
RoMNPV virus à polyhédrose de Rachiplusia	destruction par virose	biopesticide virologique ; intervention curative ou inoculative	probable avec plusieurs pesticides chimiques, et les auxiliaires	formules expérimentales	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Lewis et Johnson, 82 ; Morris et al., 86
III. Pathogènes : champignons						
Beauveria bassiana souche spécifique isolée de la pyrale, No Bb 147 Br	libération de toxines suivie de mycose	biopesticide mycologique ; intervention curative ou inoculative	établie avec certains insecticides en faible dose ; peu compatible avec fongicides	formules expérimentales	développements nécessaires ; efficacité probable dans certaines conditions	Feng et al., 88 ; Guérin, 85 ; Riba, 84 ; Riba et Marcandier, 84 ; Riba et al., 83 ; Wilding, 83
Metarrhizium anisopliae souche spécifique isolée de la pyrale, No 139	destruction par mycose	biopesticide mycologique ; intervention curative ou inoculative	probable avec certains insecticides ; peu compatible avec fongicides	formules expérimentales	développements nécessaires ; efficacité probable dans certaines conditions	Riba et Marcandier, 84 ; Riba et al., 83
Paecilomyces fumoso-roseus souches françaises isolées de lépidoptères	destruction par mycose	biopesticide mycologique ; intervention curative ou inoculative	probable avec certains insecticides ; peu compatible avec fongicides	formules expérimentales	développements nécessaires ; lutte orientée contre les chrysalides peu probable	Riba et al., 83

Tableau 20 : PYRALE DU MAÏS, Ostrinia nubilalis (Hbn.)
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte (suite)

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
IV. Pathogènes : microsporidies						
Nosema pyrausta pathogène naturel spécifique, transmis verticalement et horizontalement	maladie chronique, réduction de la survie larvaire, la fécondité et la longévité adulte	agent naturel de mortalité	partielle avec des insecticides chimiques et le B.t. kurstaki ; pathogène pour les parasitoïdes (Macrocentrus grandii, Trichogramma evanescens)	incidence naturelle ; formules expérimentales	lutte intégrée ; contrôle naturel	Andreadis, 82b, 86, 87 ; Hill et Gary, 79 ; Huger, 84 ; Lewis, 82 ; Lewis et al., 82 ; Lublinkof et Lewis, 80 ; Morris et al., 86 ; Siegel et al., 86a, b
Vairimorpha necatrix pathogène non spécifique transmis horizontalement	destruction par septicémie mortelle chez la larve ; maladie chronique chez les stades résistants	agent naturel de mortalité	probable avec les insecticides chimiques en faible dose ; pathogénicité possible pour les auxiliaires	incidence naturelle ; formules expérimentales	lutte intégrée ; contrôle naturel	Lewis, 82 ; Lewis et al., 82
V. Parasitoïdes						
Lydella thomsoni diptère tachinide introduit avec succès aux Etats-Unis	destruction par parasitisme	introduction ; lâchers inoculatifs	limitée avec les insecticides chimiques et pathogènes non spécifiques	élevé dans certains laboratoires et abondant sur la pyrale à l'état naturel aux Etats-Unis	mesure complémentaire ; lutte intégrée	Burbutis et al., 81, 84 ; Galichet et al., 85 ; Sandlan et al., 83
Macrocentrus grandii hyménoptère braconide introduit avec succès aux Etats-Unis	destruction par parasitisme	introduction ; lâchers inoculatifs	limitée avec les insecticides chimiques et pathogènes non spécifiques	élevé dans certains laboratoires et abondant sur la pyrale à l'état naturel aux Etats-Unis	mesure complémentaire ; lutte intégrée	Andreadis, 82a, b ; Siegel et al., 86a ; Winnie et Chiang, 82
Sympiesis viridula hyménoptère eulophide introduit avec succès au Canada	destruction par parasitisme	manipulation indirecte, en particulier par mesures de protection	limitée avec les insecticides chimiques et pathogènes non spécifiques	faune indigène	mesure complémentaire ; lutte intégrée ; étude détaillée nécessaire	Hudon et Leroux, 86
Trichogramma brassicae hyménoptère oophage de lépidoptères	destruction par parasitisme	lâchers inondatifs	limitée avec les insecticides chimiques et pathogènes non spécifiques	élevé dans certaines stations de lutte biologique européennes	efficacité démontrée en France, Suisse, Italie ; à vérifier ici ; possiblement inefficace aux températures <20°C	Bigler, 86 ; Bigler et Brunetti, 86 ; Wackers et al., 87

Tableau 20 : PYRALE DU MAÏS, Ostrinia nubilalis (Hbn.)
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte (suite)

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
Trichogramma maidis hyménoptère oophage de lépidoptères	destruction par parasitisme	lâchers inondatifs	limitée avec les insecticides chimiques ; susceptible à Nosema pyrausta	commercialisé en Europe	efficacité démontrée en Allemagne, à vérifier ici ;	Bigler et al., 82 ; Hassan, 81, 82 ; Hassan et al., 86 ;
Trichogramma evanescens souche moldave ; hyménoptère oophage de lépidoptères	destruction par parasitisme	lâchers inondatifs	limitée avec les insecticides chimiques ; susceptible à Nosema pyrausta	élevé dans certaines stations de lutte biologique dont Guelph, Ontario ; commercialisé en Europe	efficacité démontrée en Allemagne, à vérifier ici ; possiblement peu efficace aux températures <20°C	Bigler et al., 82 ; Hassan, 81, 82 ; Hassan et al., 86 ; Huger, 84 ; Neuffer, 82a, b
Trichogramma minutum hyménoptère oophage de la pyrale et autres lépidoptères, indigène	destruction par parasitisme	lâchers inondatifs	limitée avec les insecticides chimiques et pathogènes non spécifiques	élevé en masse à Guelph, Ontario et autres insectariums spécialisés en lutte biologique	à l'étude comme alternative de lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette ; efficacité à démontrer contre la pyrale	Hudon et Leroux, 86 ; Smith et Hubbes, 86
Trichogramma nubilale hyménoptère oophage relativement spécifique, indigène aux Etats-Unis	destruction par parasitisme	lâchers inondatifs	limitée avec les insecticides chimiques et pathogènes non spécifiques	élevé en laboratoire au Delaware	à l'étude, efficacité à démontrer ; possiblement peu efficace aux températures <20°C	Burbutis et Goldstein, 83; Burbutis et Koepke, 81; Burbutis et al., 83 ; Chiang et al., 86 ; Goldstein et al., 83 ; Kanour et Burbutis, 84
VI. Prédateurs						
Coelomegilla maculata coléoptère coccinellide indigène, polyphage	destruction par prédation	manipulation indirecte, en particulier par mesures de protection	limitée avec les insecticides chimiques et pathogènes non spécifiques	faune indigène	mesure complémentaire ; lutte intégrée	Hudon et Leroux, 86
Orius insidiosus hémiptère anthocoride indigène, non spécifique	destruction par prédation	manipulation indirecte, en particulier par mesures de protection	limitée avec les insecticides chimiques et pathogènes non spécifiques	faune indigène	mesure complémentaire ; lutte intégrée	Hudon et Leroux, 86

Tableau 21 : PYRALE DU MAÏS, Ostrinia nubilalis (Hbn.)
Sommaire sélectif des techniques physiques de répression

Technique	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Pièges collants à phéromone sexuelle						
Piège P.C.R.						
Contenants cartonnés englués	substance attractive : phéromone sexuelle	dépistage	sélectifs	commercialisation au Québec	lutte intégrée	Ritchot (comm.pers.)
Contenants cartonnés englués	substance attractive : phéromone sexuelle	dépistage	changement des capsules de phéromones à toutes les semaines ; capture les mâles	commercialisation en Amérique	techniques éprouvées	Starratt et McLeod, 76 ; McLeod et Starratt, 78 ;
II. Pièges lumineux						
Fluorescents	attraction visuelle	dépistage	capture femelles et mâles en grand nombre ; manque de spécificité ; difficulté de transport ; peu pratiques et coûteux pour les agriculteurs	commercialisation en Amérique	techniques éprouvées	Showers et al., 74 ; Kennedy et Anderson, 80 ;

Tableau 22 : PYRALE DU MAÏS, Ostrinia nubilalis (Hbn.)
Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression

Méthode	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Temps des semis	éviter les périodes d'abondance de la pyrale	planter tard en saison afin de réduire les dommages	dépend des facteurs climatiques ; nécessite des informations spécifiques pour chaque région	méthode utilisée par les agriculteurs	besoin de dates précises pour le Québec	Cox, 88 ; Pimentel, 62
II. Labour	détruire les sites d'hibernation	destruction des tiges au rotoculteur suivi d'un labour profond à l'automne ou tôt le printemps	mesure très efficace si elle est appliquée avant la mi-juin	présentement recommandée par le réseau d'avertissements phytosanitaires du MAPAQ et le CPVQ	méthode à inclure dans les recommandations d'usage pour une répression sans insecticides	Feuillet RAPQ ; Réseau grandes cultures, 1988, communiqué 15
III. Fertilisation	assure une bonne croissance et une résistance accrue aux ravageurs	l'azote augmente les dommages aux plantes ; le phosphore augmente la résistance	nécessite de la planification et la connaissance des engrais	utilisée par les agriculteurs ; efficacité moyenne	efficacité à démontrer ; nécessite plus de recherche	Cox, 88 ; Pimentel, 62
IV. Drainage	permet un accès au terrain plus tôt dans la saison de culture	plantation précoce	peut induire le besoin pour l'irrigation plus tard dans la saison ; perte de minéraux ; pollution des sols due à l'accumulation des drains	utilisée par les agriculteurs ; efficacité moyenne	efficacité à démontrer ; nécessite plus de recherche	Cox, 88 ; Pimentel, 62

Tableau 23 : PYRALE DU MAÏS, Ostrinia nubilalis (Hbn.)
Résistance des végétaux

Mécanisme de résistance	Principe d'action	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Chimique 2,4-dihydroxy-7-methoxy-1,4-benzoxazin-3-one (DIMBOA) silice lignine **II. Physique** Trichomes foliaires	présence de substances toxiques et dissuadantes pour les jeunes larves le poids des pupes femelles diminue et le pourcentage de mortalité augmente les trichomes gênent la ponte et provoquent une diminution dans le nombre d'oeufs	certaines lignées résistantes ne contiennent que de faibles pourcentages de DIMBOA. Il semblerait que les mécanismes de résistance sont produits par la synergie de différentes concentrations de DIMBOA, de silice et de lignine le DIMBOA est présent dans les jeunes plantules surtout la présence de DIMBOA ne modifie pas la présence des femelles au moment de la ponte à concentration égale de DIMBOA, certaines lignées résistantes en champs deviennent susceptibles en serres le DIMBOA s'avère toxique pour d'autres ravageurs, y compris les pucerons	plusieurs cultivars de maïs-grain résistants à la pyrale sont présentement commercialisés au Québec	la création de variétés résistantes à la pyrale s'avère économiquement rentable	Anglade, 85 ; Guthrie et Barry, 83 ; Guthrie, Guthrie et al., 85 ; Tseng et al., 84 ; Robinson et al., 82. Guthrie et al., 86 ; Russel et al., 75 ; Ching et Hudson, 73 ; Sullivan et al., 74 ; Rojanaridpiched et al., 84 ;Long et al., 77 ; Hudon et al., 80 ; Durbey et Sarup, 82 ; Hudon et al., 79

3.2.7 Charançon de la carotte (M.) Listronotus oregonensis (Lec.)

Au Québec, le charançon de la carotte est univoltin et ses dommages sont limités aux carottes cultivées dans les terres organiques du sud-ouest de la province. Les pertes sont causées par l'alimentation des larves sur les racines des carottes.

Agents biologiques

Malgré le faible nombre d'antagonistes naturels répertoriés du charançon, son activité souterraine offre des opportunités sérieuses d'intervention avec des biopesticides à large spectre d'action comme les complexes némato-bactériens actuellement disponibles, notamment Steinernema feltiae (=Neoplectana carpocapsae), ou les champignons, en particulier le Beauveria bassiana.

L'oophage Anaphes sordidadus pourrait être manipulé directement ou indirectement pour en augmenter l'impact répresseur sur les oeufs. Ce parasite est présentement à l'étude par des chercheurs d'Agriculture Canada. Il sera cependant nécessaire de favoriser la recherche de biopesticides résiduels efficaces parmi les formules à base de champignons pathogènes à large spectre d'action (Boverin™) ou de pathogènes spécifiques de coléoptères (M-cap™).

Le nématode Steinernema feltiae est présentement un agent biologique très prometteur pour la lutte contre le charançon. Des formules commerciales sont disponibles aux Etats-Unis. La sensibilité des larves, pupes et adultes du charançon a été démontrée en laboratoire et des essais de répression sur le terrain sont présentement en cours. Les résultats en parcelles expérimentales révèlent des taux de succès allant de 70% à 100% selon qu'il est utilisé seul ou avec une méthode de dépistage avec un piège-appât. Cet agent biologique a été retenu pour l'étude économique.

Techniques physiques

Le modèle de piège-appât, plaques de bois et section de carotte, est utilisé pour l'échantillonnage et le dépistage du charançon adulte. L'emploi d'un seuil économique et l'émission de recommandations concernant les densités de population permettent de réduire le nombre de traitements insecticides. Ce piège-appât est commercialisé dans un réseau de dépistage au Québec. Ce modèle peut être utilisé dans des programmes de lutte intégrée selon les opportunités d'intervention disponibles, particulièrement avec la lutte biologique et les méthodes culturales.

Méthodes culturales

La rotation des cultures et la destruction des plantes-hôtes alternatives semblent des méthodes culturales complémentaires pour assurer une bonne prévention contre le charançon de la carotte. Des données indiquent que les semis tardifs sont en partie à l'abri de la ponte, mais la date de semis est évidemment soumise à d'autres contraintes majeures.

Conclusion

Le nématode Steinernema feltiae est actuellement l'alternative biologique la plus prometteuse pour lutter contre le charançon de la carotte. Cependant, cet agent de répression ne pourra être mis en marché avant quelques années. Combiné au piège-appât, cet agent de lutte offre une protection satisfaisante aux cultures de carottes. Il est actuellement à l'essai à la Station de recherches d'Agriculture Canada à Saint-Jean-sur-Richelieu et les résultats en plein champ seront connus en 1990.

Tableau 24 : CHARANÇON DE LA CAROTTE, Listronotus oregonensis (Lec.) Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Champignon pathogène						
Beauveria bassiana pathogène à large spectre d'activité	libération de toxines ; mycose	biopesticide mycologique ; intervention curative ou inoculative ; possibilité d'effet épizootique	variable avec les fongicides, insecticides et herbicides ; applicable en combinaison avec certains insecticides	formules commerciales et expérimentales en Amérique ; produit industriel dans les pays de l'Est (Boverin)	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Searle et Yule, 88
II. Nématodes						
Steinernema feltiae (= Neoplectana carpocapsae) souche DD136 ; pathogène non spécifique	complexe infectieux ver-bactérie ; septicémie mortelle	biopesticide nématologique ; intervention curative ou inoculative ; possibilité d'effet rémanent	non connue, probablement comparable à celle des pathogènes ; sensible à la sécheresse	formules commerciales disponibles aux Etats-Unis	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Bélair et Boivin, 85
Steinernema bibionis pathogène non spécifique	complexe infectieux ver-bactérie ; septicémie mortelle	biopesticide nématologique ; intervention curative ou inoculative ; possibilité d'effet rémanent	non connue, probablement comparable à celle des pathogènes ; sensible à la sécheresse	disponible dans plusieurs laboratoires	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Bélair et Boivin, 85
Heterorhabditis heliothidis pathogène non spécifique	destruction par parasitisme	biopesticide nématologique ; intervention curative ou inoculative ; possibilité d'effet rémanent	non connue, probablement comparable à celle des pathogènes ; sensible à la sécheresse	disponible dans plusieurs laboratoires	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Bélair et Boivin, 85
III. Parasites						
Anaphes sordidadus hyménoptère mymaride oophage, indigène	destruction par parasitisme	lâchers inoculatifs ou inondatifs ; protection	avec les auxiliaires ; peu compatible avec les insecticides chimiques ; variable avec les autres pesticides	faune indigène ; état expérimental à Agriculture Canada	efficacité à démontrer ; lutte intégrée	Boivin, 86 ; Collins et Grafius, 86a, b

Tableau 25 : CHARANÇON DE LA CAROTTE, Listronotus oregonensis (Lec.) Sommaire sélectif des techniques physiques de répression

Technique	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
Pièges-appâts						
Plaques de bois modèle de 3 mm	appât : section de carotte ; adultes pénètrent entre les plaques	échantillonnage et dépistage ; utilisation d'un seuil économique ; recommandations de traitements ;	efficacité pour le dépistage ; facilité d'utilisation	utilisation commerciale seulement par les réseaux de dépistage	lutte intégrée	Boivin, 85

Tableau 26: CHARANÇON DE LA CAROTTE, Listronotus oregonensis (Lec.) Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression

Méthode	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Rotation	élimine les insectes qui ne peuvent survivre deux années consécutives sans la présence d'hôte convenable	ne pas semer les carottes deux années consécutives au même endroit	facile à établir ; excellent pour les sols ; nécessite une bonne planification ; doit avoir les superficies nécessaires	méthode pratiquée au Québec	recherche sur plante-hôte secondaire nécessaire	Boivin (comm. pers.) ; Cox, 88 ; Brodeur, L.
II. Hygiène	détruire les sites de reproduction et de nutrition; ne pas laisser de carottes à l'automne	labourer pour détruire les débris de culture; pour éviter ponte hâtive et apparition d'une 2e génération	nécessite une opération supplémentaire ; peut détruire certains insectes bénéfiques ; doit être bien effectuée pour bien fonctionner	méthode pratiquée au Québec	lutte intégrée	Boivin (comm. pers.)

3.2.8 Aleurode des serres (M.) Trialeurodes vaporariorum (Westw.)

L'aleurode des serres, ravageur cosmopolite, est le principal ravageur des cultures de tomates en serres au Québec. Les dégâts sont provoqués par les stades immature et adulte de l'insecte lorsqu'il se nourrit de la sève sur la surface inférieure des feuilles. Le miellat collant excrété par l'insecte favorise le développement de champignons.

Agents biologiques

Avec le tétranyque à deux points, l'aleurode des serres est l'un des ravageurs pour lesquels des alternatives biologiques de lutte efficaces sont connues et appliquées depuis longtemps. La lutte biologique en serres contre ces deux ravageurs primaires des cultures abritées s'est avérée le moteur principal du développement spectaculaire que connaît la lutte intégrée en serres. La disponibilité commerciale étendue d'Encarsia formosa permet l'implantation rapide de la lutte biologique en culture abritée, pour autant que les producteurs sont adéquatement informés des méthodes appropriées de libération et des facteurs critiques de succès. On ne comprend encore que partiellement les interactions qui font d'Encarsia un parasitoïde efficace. Les recherches visant à combler cette lacune ou à développer des alternatives, parmi des pathogènes, parasitoïdes ou prédateurs reconnus comme antagonistes des aleurodes, doivent être soutenues.

Importé d'Europe, des Etats-Unis ou de l'ouest du Canada, l'Encarsia formosa est largement disponible au Canada et ailleurs dans le monde. Nous avons répertorié quatre sources d'approvisionnement : une compagnie ontarienne, Better Yields, une compagnie de Colombie-Britannique, Applied Bionomics, une compagnie américaine, Safers, et une compagnie française, Duclos. Les serriculteurs qui emploient ce produit se disent satisfaits.

Cependant, pour accélérer l'utilisation d'Encarsia, une meilleure formation des producteurs et des techniciens s'impose.

Techniques physiques

Les panneaux et les rubans jaunes, utilisés surtout pour le dépistage, peuvent aussi supprimer les faibles densités de population de la première génération. Ces techniques, utilisées dans les serres, permettent aux producteurs d'intervenir par des traitements phytosanitaires (savon) ou encore par l'introduction d'agents biologiques.

Méthodes culturales

La destruction des plantes-hôtes secondaires avoisinant les serres est sans doute la méthode culturale la plus efficace pour contribuer à la répression de l'aleurode. Néanmoins, cette pratique seule ne peut suffire pour atteindre le seuil de répression souhaité et, de ce fait, elle doit être utilisée avec d'autres modes de lutte déjà mentionnés, le dépistage par les pièges jaunes et l'introduction d'agents biologiques.

Conclusion

L'Encarsia formosa, agent biologique de répression de l'aleurode, est déjà utilisé depuis de nombreuses années dans les serres au Québec. Il est largement disponible et les serriculteurs sont satisfaits de sa performance. Cependant, la demande dépasse souvent les disponibilités.

Tableau 27 : ALEURODE DES SERRES, Trialeurodes vaporariorum (Westw.)
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Champignons pathogènes						
Acremonium sp. pathogène naturel ; souche isolée de l'aleurode en Bulgarie	destruction par mycose mortelle en 4 jours	biopesticide mycologique	limitée avec fongicides ; infectieux en atmosphère non saturée	souches disponibles dans certains laboratoires européens	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Riba et Entcheva, 84
Aschersonia aleyrodis pathogène naturel spécifique des cochenilles aleurodes	destruction par mycose ; invasion par germination conidiale	biopesticide mycologique	limitée avec fongicides ; Encarsia peu sensible ; requiert température >15°C	souches disponibles dans certains laboratoires	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Ferron, 78 ; Fransen et al., 87 ; Samson et Rombach, 85 Wilding, 83
Aschersonia flava et A. placenta pathogènes spécifiques : cochenilles et aleurodes, introduits en URSS de Chine	destruction par mycose	biopesticide mycologique	limitée avec fongicides	souches disponibles en URSS	efficacité à démontrer ; lutte intégrée sur concombre	Lipa, 85
II. Parasitoïdes						
Encarsia formosa hyménoptère aphélinide exotique, spécifique	destruction des pupes par parasitisme, et des larves par piqûres d'alimentation	lâchers inondatifs ou inoculatifs	incompatible avec les insecticides chimiques ; variable avec autres pesticides	largement disponible commercialement	usage opérationnel ; soutien éducatif initial souhaitable	Delorme et al., 84 ; Freuler et Paccaud, 80 ; Hussey, 85c ; Hussey et Scopes, 77 ; Lăcătusu et al., 84 ; McClanahan, 84 ; Osborne, 81 ; Stenseth, 85 ; van Lenteren et Woets, 88 ; van de Veire et Vacante, 84 ; Woets et van Lenteren, 76 ; Yano, 87
III. Prédateurs						
Macrolophus costalis hétéroptère miride	destruction par prédation	lâchers inondatifs ou inoculatifs	incompatible avec les insecticides chimiques	élevé en Bulgarie, URSS, Pologne	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Lipa, 85

Tableau 28 : ALEURODE DES SERRES, Trialeurodes vaporariorum (Westw.) Sommaire sélectif des techniques physiques de répression

Technique	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Rubans de couleur jaune	piège visuel de couleur attractive	utilisés pour le dépistage ; disposés à la verticale à la tête des plants, à l'horizontale entre les rangs	lorsque les populations sont faibles, peuvent servir à la répression	commercialisation au Québec ; utilisation par les serristes	lutte intégrée	Gilkerson (Comm. pers.)
II. Panneaux de couleur jaune	piège visuel de couleur attractive	utilisés pour le dépistage ; disposés à la verticale à la tête des plants	lorsque les populations sont faibles, peuvent servir à la répression	commercialisation au Québec ; utilisation par les serristes	lutte intégrée	Gillepsie et Quiring, 87 ; Affeldt et al., 83 ; van de Veire et Vacante, 84

Tableau 29 : ALEURODE DES SERRES, Trialeurodes vaporariorum (Westw.) Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression

Méthode	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Compagnonnage	masque les odeurs de la plante-hôte par d'autres espèces végétales	dans les serres, utiliser le tabac en fleurs	faible efficacité, demande un travail supplémentaire	tentée expérimentalement par quelques agriculteurs biologiques	efficacité à démontrer	Hill, 75
II. Hygiène	éliminer les sites de nourriture, de ponte et de reproduction	détruire les mauvaises herbes dans les serres et autour des bâtiments	opération très importante ; permet d'éliminer les autres ravageurs des serres présents aux alentours	opération présentement effectuée par quelques serristes	méthode à inclure dans les recommandations d'usage pour la prévention	Morin, 88

3.2.9 Tétranyque à deux points (M.) Tetranychus urticae Koch

Le tétranyque à deux points est pratiquement présent dans toutes les serres. Il fait des ravages importants dans les cultures de tomates et de concombres. Cet acarien, à fort potentiel de multiplication, s'alimente de la sève du feuillage des plants. Son dépistage est facilité par la production de fines toiles sur le feuillage.

Agents biologiques

Que ce soit en cultures abritées ou non, l'alternative la plus valable pour la répression du tétranyque à deux points demeure la manipulation des prédateurs, en particulier des acariens phytoséiides. La manipulation peut être accomplie indirectement par des mesures de protection dans un programme de lutte interdisant l'usage d'insecticides nocifs contre les acariphages et, tout spécialement, les acariens prédateurs dont de nombreuses espèces utiles ont été identifiées dans les populations naturelles de tétranyques. La manipulation est aussi possible directement et de façon particulière en culture protégée, par la libération inondative ou inoculative d'espèces démontrées efficaces, comme Phytoseiulus persimilis et Amblyseius fallacis. Plusieurs souches sélectionnées, souvent disponibles commercialement, sont spécifiquement résistantes à divers insecticides communément employés en vergers et en cultures sous abris. Le prédateur Phytoseiulus persimilis est utilisé, par des serristes québécois, comme alternative biologique de lutte contre le tétranyque à deux points.

Il devient nécessaire d'appuyer la formation d'un groupe de recherche et d'application de la lutte biologique en serres, ayant pour objectifs d'adapter l'usage de Phytoseiulus persimilis et des antagonistes utiles dans ce type de production, ainsi que de développer la lutte intégrée axée sur la répression des ravageurs des serres par l'emploi d'ennemis naturels.

Le développement d'alternatives axées sur des biopesticides inertes à base d'avermectine ou de thuringiensine apparaît possible à moyen ou long terme, mais l'hésitation à l'égard de la sécurité de ces toxines peu spécifiques sera un facteur limitant cette approche.

Techniques physiques

Aucune technique physique n'est actuellement considérée pour la répression du tétranyque à deux points. Cependant, le savon insecticide « Safer » est utilisé comme alternative aux insecticides chimiques par plusieurs serristes au Québec. Son efficacité semble appréciée, mais son utilisation en lutte intégrée demande une attention particulière, principalement en lutte biologique pour protéger les prédateurs.

Méthodes culturales

L'élimination des sites de reproduction contribue à réprimer les populations de tétranyque à deux points. Cependant, la lutte intégrée demeure la stratégie la plus efficace contre ce ravageur. Il importe donc de favoriser l'action des ennemis naturels par une régie des cultures adéquate.

Conclusion

L'utilisation du prédateur Phytoseiulus pour la répression du tétranyque à deux points est actuellement la méthode la plus efficace et répandue en Amérique et en Europe. Les points de vente sont cependant rares et les fournisseurs ne parviennent pas toujours à répondre à la demande.

Tableau 30 : TÉTRANYQUE À DEUX POINTS, Tetranychus urticae Koch
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Pathogènes : produits dérivés du Bacillus thruringiensis						
B.t. thuringiensis pathogène peu spécifique	thuringiensine (ß-exotoxine) ; intoxication par inhibition de la synthèse des ADN	biopesticide inerte ; intervention curative	probable avec plusieurs pesticides chimiques ; phytotoxicité	formules expérimentales disponibles ; (DiBeta)	efficacité en conditions réelles à démontrer ; sécurité incertaine ; améliorations techniques nécessaires	Neal et al., 87
II. Pathogènes : champignons						
Streptomyces avermitilis pathogène peu spécifique	toxine purifiée avermectin B 1 (MK 936) ; intoxication ; activité contre les insectes, acariens et nématodes	biopesticide inerte pour intervention curative	probable avec plusieurs pesticides chimiques ; toxique pour les auxiliaires	formules expérimentales disponibles	efficacité à démontrer ; améliorations techniques nécessaires	Helyer et Ledieu, 86
Entomophthora adiarica pathogène peu spécifique	destruction par mycose	biopesticide mycologique avec propriétés épizootiques	probable avec plusieurs pesticides chimiques ; à vérifier pour les auxiliaires	souches de laboratoire de l'URSS	efficacité à démontrer ; développements nécessaires	Lipa, 85

Tableau 30 : TÉTRANYQUE À DEUX POINTS, Tetranychus urticae Koch
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte (suite)

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
III. Prédateurs						
Amblyseius fallacis acarien phytoséiide indigène ; établi dans les vergers humides	destruction par prédation	lâchers inondatifs ou inoculatifs	variable avec les pesticides ; souches résistantes à des organophosphates et pyréthroïdes	faune indigène ; élevé en laboratoire au Michigan	efficacité à vérifier en conditions locales ; lutte intégrée en vergers	Bostanian et Coulombe, 86 ; Stricker et Croft, 82
A. idaeus acarien phytoséiide exotique d'Amérique du Sud ; tolérant les basses hygrométries	destruction par prédation	lâchers inondatifs ou inoculatifs	variable avec les pesticides	élevé dans certains laboratoires ; a été obtenu du CIBC	efficacité à démontrer ; lutte intégrée en serres	Dihn et al., 88a, b
A. (= Cydnodromus) chilenensis acarien phytoséiide exotique du sud de la France	destruction par prédation	lâchers inondatifs ou inoculatifs	variable avec les pesticides	faune d'Europe ; élevé en laboratoire	efficacité à vérifier, établi à faible densité de tétranyques en France	Fournier et al., 85
Metaseiulus occidentalis acarien phytoséiide indigène des régions fruitières semi-arides de l'ouest	destruction par prédation	lâchers inondatifs ou inoculatifs	variable avec les pesticides ; souches résistantes à plusieurs types d'insecticides chimiques	présent à l'état naturel ; élevé en laboratoire en Californie	efficacité à vérifier en conditions locales ; démontrée en Californie en serres et en vergers ; lutte intégrée	Roush et Hoy, 81 ; Strickler et Croft, 82
Phytoseiulus macropilis acarien phytoséiide commun sur cultures abritées en Floride	destruction par prédation	lâchers inondatifs ou inoculatifs	variable avec les pesticides	élevé en laboratoire (Etats-Unis)	efficacité à vérifier en conditions locales ; démontrée en Floride sur ornementales	Hamlen et Lindquist, 81

Tableau 30 : TÉTRANYQUE À DEUX POINTS, Tetranychus urticae Koch
Sommaire sélectif des alternatives biologiques de lutte (suite)

Agent	Principe d'action	Usage	Compatibilité	Etat d'avancement	Perspective	Références
P. persimilis acarien phytoséiide cosmopolite	destruction par prédation	lâchers inondatifs ou inoculatifs	variable avec les pesticides ; souches résistantes à plusieurs insecticides chimiques	distribué par plusieurs firmes commerciales	mesure opérationnelle et efficace en serres, adaptée à la lutte intégrée ; efficacité à démontrer en culture fruitière	Bondarenko, 79 ; Fournier et al., 85, 87 ; French et al., 76 ; Hance et Pasleau, 87 ; Hamlen et Lindquist, 81 ; Hussey, 79, 85a ; Hussey et Huffaker, 76 ; Hussey et Scopes, 77 ; Lăcătusu et al., 84 ; Lipa, 85 ; McClanahan, 84a ; Onillon, 86 ; Onillon et al., 83 ; Osborne et Petitt, 85 ; Pralavorio et al., 75, 83 ; Raworth, 88 ; Scopes, 85 ; Stenseth, 79, 85a

Tableau 31 : TÉTRANYQUE À DEUX POINTS, Tetranychus urticae Koch
Sommaire sélectif des méthodes culturales de répression

Méthode	Principe d'action	Usage	Avantages et contraintes	Etat d'avancement	Perspective	Références
I. Régie des cultures	favoriser le contrôle naturel	éviter si possible l'utilisation des pesticides	peut favoriser d'autres insectes ravageurs	encouragée de plus en plus par les réseaux de dépistage	lutte intégrée	Vincent et Lachance, 87
		arroser fréquemment avec un jet d'eau puissant	nécessite un boyau d'arrosage	peu utilisée	non réaliste pour de grandes superficies	Hill, 87
II. Hygiène	détruire les sites de reproduction	éliminer les mauvaises herbes à larges feuilles (dicotylédones)	nécessite une étape supplémentaire	déjà recommandée par le réseau d'avertissements phytosanitaires	pratique recommandée	Feuillet RAPQ, Réseau pommier

4. DISCUSSION

La lutte intégrée n'est pas une méthode en soi, mais plutôt une stratégie d'application des méthodes disponibles, comprenant la lutte chimique. De la même façon, la lutte biologique est rarement utilisée comme seule alternative à la lutte chimique, mais plutôt comme un des éléments d'une stratégie globale de lutte intégrée, faisant appel à toutes les méthodes disponibles.

Les méthodes alternatives de répression des insectes peuvent être classées en deux catégories : des méthodes de répression et de prévention. La répression est le plus souvent une intervention, à l'aide de microorganismes pathogènes, de parasites ou de prédateurs, visant l'élimination à brève échéance du ravageur. Les méthodes de lutte préventive sont nombreuses et incluent, par exemple, le dépistage systématique à l'aide de techniques physiques tels les pièges, les méthodes culturales favorisant le contrôle naturel des populations de ravageurs ou l'emploi de variétés de plantes résistantes aux insectes nuisibles.

4.1 Les agents biologiques

4.1.1 Les microorganismes pathogènes

Les bactéries

Les bactéries sont les microorganismes le plus souvent utilisés en lutte biologique contre les insectes ravageurs. Une centaine d'espèces sont spécifiquement entomopathogènes, mais seulement quelques bacilles sporulant ont été considérés pour le développement de biopesticides. Le bacille entomophage le mieux connu et le seul qui ait été commercialisé et utilisé sur une grande échelle est le Bacillus thuringiensis (B.t.). Ce bacille accapare environ 90% du marché actuel des biopesticides. On retrouve plus de 400 formulations approuvées pour la répression des ravageurs aux Etats-Unis. Actuellement, plus de 1000 formules avec le B.t. sont connues et classées en une trentaine de souches et sérotypes infectant un grand nombre d'insectes, pour la plupart des lépidoptères. On retrouve également certaines souches actives contre des diptères ou des coléoptères.

On retrouve sur le marché certaines formulations du B.t. où les spores sont inactivées, excluant ainsi la possibilité de transmission horizontale. Il en résulte alors un biopesticide inerte possédant un mode d'action identique à celui d'un pesticide chimique. Cette technique est utilisée au Japon afin d'éviter les effets négatifs du B.t. sur le ver à soie.

Les deux souches de B.t., les plus largement exploitées actuellement en lutte biologique, sont le B.t. israelensis contre les diptères, en particulier les maringouins et les mouches noires, et le B.t. kurstaki, contre les chenilles de lépidoptères. Des formules commerciales à base de spores et de cristaux de δ-endotoxine du B.t. kurstaki sont disponibles dans plusieurs pays. Au Canada, les marques disponibles sont Bactur™, Dipel™ et Thuricide™.

Dans le domaine de la recherche, le B.t. est l'agent de lutte biologique contre les ravageurs le plus intensément étudié à l'échelle mondiale. Des souches et lignées du B.t. sont systématiquement évaluées dans le but d'isoler de nouvelles souches caractérisées par un spectre d'activité restreint ou nouveau. Ainsi, des recherches récentes ont permis d'isoler le B.t. tenebrionis (ou B.t. san diego), apparemment spécifique des coléoptères, un ordre d'insectes incluant de nombreux ravageurs considérés jusqu'à présent à l'abri des B.t. En 1988, la firme américaine Mycogen mettait sur le marché le produit M-one™, à base de B.t. san diego, destiné à lutter contre le doryphore de la pomme de terre. A l'avenir, les développements les plus intéressants viendront probablement de la manipulation génétique des B.t. avec des applications pratiques d'ici cinq ou dix ans. Des recherches de ce type sont menées activement par plusieurs firmes commerciales, mais les intérêts en jeu empêchent probablement la publication des détails des résultats pour le moment.

Plus spécifiques que les pesticides chimiques, les biopesticides à base de B.t. sont économiquement désavantagés puisqu'ils ont un spectre d'action plus restreint et, par conséquent, un marché potentiel moins vaste. Ce désavantage est actuellement contrebalancé par les coûts réduits de développement reliés à un éventail réduit d'essais de toxicité requis pour l'homologation d'un produit. Cependant, la loi fédérale projette, pour l'été 1990, un renforcement des exgigences d'homologation pour les biopesticides issus de la biotechnologie.

Nous connaissons maintenant une dizaine de B.t. qui sont commercialement disponibles ou potentiellement exploitables pour la répression des ravageurs importants au Québec (tome 3). La plupart sont actifs contre les lépidoptères (pyrale du maïs et piéride du chou), mais le tétranyque à deux points et le doryphore de la pomme de terre sont parmi les ravageurs visés par certaines souches récemment caractérisées.

Les virus

Les biopesticides, à base de virus pathogènes d'insectes ainsi que les maladies qu'ils causent, sont relativement spécifiques. Cette caractéristique leur confère un avantage comme agents de lutte puisque leur emploi permet une intervention précise sans risque d'effets secondaires néfastes sur les ennemis naturels du ravageur visé. De plus, les baculovirus ne présentent aucun danger pour les mammifères et autres vertébrés puisqu'ils n'ont des hôtes connus que chez les invertébrés. Le principal désavantage des virus entomophages demeure la difficulté de les propager en masse à faible coût. Ce problème provient du caractère obligatoire de leur multiplication à partir de tissus intacts d'insectes convenables.

L'étude des virus fait appel à des techniques récentes et est en pleine évolution. Les développements attendus viendront de plusieurs directions. Par exemple, la manipulation génétique permettra d'introduire, dans le génome viral, des gènes codant pour des toxines, afin d'augmenter ou d'ajuster la spécificité de la virulence du biopesticide à des hôtes particuliers. De plus, le progrès de la culture de tissus permettra, en principe, de régier le problème découlant du caractère parasitique obligatoire des virus, qui limite le développement de techniques peu coûteuses de production de biopesticides viraux.

Trois virus entomophages ont été identifiés comme modes alternatifs potentiels pour la répression de la pyrale du maïs et de la piéride du chou. Il s'agit des virus AcMNPV, RoMNPV et ArGV qui causent des viroses mortelles. Ils ne sont disponibles que pour l'expérimentation. Leur avenir commercial est incertain, particulièrement si l'on considère l'avance très marquée des biopesticides bactériens.

Les champignons entomophages

On connaît plus de 700 espèces de champignons capables d'infecter des insectes. Les épizooties fongiques sont souvent responsables de la régulation naturelle des populations d'insectes ravageurs. Plusieurs champignons, particulièrement des espèces des genres Beauveria, Entomophaga, Entomophthora, Erynia, Hirsutella, Metarrhizium, Neozygites et Verticillium, sont actuellement considérés comme biopesticides potentiels. Parmi ceux-ci, seulement quelques-uns sont disponibles commercialement pour application contre certains insectes ou mites nuisibles.

En URSS, une formule biopesticide fongique, à base de conidies du Beauveria bassiana, est fabriquée à l'échelle industrielle sous la marque Boverin™. Cette préparation, mélangée à de faibles quantités d'insecticides chimiques, est utilisée contre le doryphore de la pomme de terre en URSS et contre la pyrale du maïs en Chine. Aux Etats-Unis et au Canada, Beauveria bassiana est à l'essai contre le doryphore de la pomme de terre. L'avantage des champignons sur les autres microorganismes pathogènes est le pouvoir d'infecter l'hôte sans devoir être ingéré, rendant ainsi les larves et les oeufs de l'hôte susceptibles aux biopesticides fongiques. De plus, la persistance relativement longue des spores dans le sol confère aux champignons une rémanence potentiellement exploitable à des fins préventives, dans un contexte de lutte intégrée contre les ravageurs inféodés du sol. Le principal désavantage des champignons est leur besoin de conditions relativement humides pour pouvoir germer et se propager, ainsi que la faible persistance des spores exposées aux intempéries.

On peut identifier une quinzaine d'espèces de champignons entomophages potentiellement utilisables contre des ravageurs importants au Québec (tome 3). Parmi celles-ci, B. bassiana est en tête, à cause de la diversité des ravageurs pouvant être visés et, surtout, de l'expérience de son utilisation pratique acquise ailleurs, plus particulièrement en URSS. Le seul autre cas d'application pratique avancé est celui du Verticillium lecanii, commercialisé en Europe pour la répression des homoptères en serres. Mais l'efficacité locale des formules disponibles, en champs et en serres, reste à démontrer, en particulier à cause des conditions relativement sèches en saison hivernale.

Les protozoaires

Les protozoaires les mieux connus en lutte biologique sont les microsporidies du genre Nosema. Les possibilités de répression avec les protozoaires semblent réduites à cause de leur pathogénicité chronique plutôt qu'aiguë et aussi parce que les spores sont peu tolérantes aux conditions climatiques en milieu ouvert. Aux fins du développement de biopesticides, les microsporidies viennent donc après les B.t., les virus et les champignons.

De plus, certaines microsporidies pathogènes de ravageurs peuvent infecter des parasitoïdes de leurs hôtes, ce qui limite leur utilisation avec certains ennemis naturels. Un des avantages reliés à l'utilisation des protozoaires est la transmissibilité verticale des microsporidies. Cette caractéristique leur confère la possibilité d'effet prolongé sur plus d'une génération et une forte probabilité de persistance à faible densité d'hôtes.

Nous avons pu relever seulement deux espèces de microsporidies potentiellement exploitables contre des ravageurs des cultures au Québec. Toutes deux sont considérées aux fins de la répression de la pyrale du maïs ; il s'agit de Nosema pyrausta et Vairimorpha necatrix. Leur utilité pratique est cependant incertaine, à cause de la commercialisation des B.t. et des champignons pour la répression de cet insecte.

Avantages et contraintes reliés aux microorganismes pathogènes

Les microorganismes pathogènes ont un fort potentiel en lutte biologique car ils présentent plusieurs avantages dont certains sont exclusifs :

- ils exploitent les formes juvéniles des ravageurs et peuvent ainsi agir tôt ;
- le potentiel de multiplication et de répression est beaucoup plus élevé qu'avec les parasites et les prédateurs ;
- la production en masse de pathogènes bénéficie de la technologie acquise dans plusieurs secteurs industriels de la microbiologie appliquée, notamment ceux de la production des aliments et des médicaments ;
- les pathogènes et les insecticides microbiologiques peuvent être appliqués avec les mêmes techniques que les insecticides chimiques ;
- les pathogènes très virulents peuvent causer une forte mortalité en peu de temps, permettant leur emploi à des fins de répression comme les insecticides chimiques.

Les barrières actuelles à l'implantation plus rapide de l'usage des pathogènes en lutte biologique sont

- le manque de connaissances fondamentales sur la biologie et l'épidémiologie des microorganismes impliqués ;
- l'impossibilité de produire économiquement en masse plusieurs sortes de pathogènes potentiellement utiles ;
- l'hésitation du public et, conséquemment des législateurs, face à la libération dans le milieu de microorganismes ;
- l'incertitude d'obtenir des taux élevés de mortalité des ravageurs visés, liée à l'impossibilité de contrôler tous les facteurs qui conditionnent le succès de l'infection, le développement de la maladie et le dépérissement de l'hôte ;
- la sensibilité naturelle des microorganismes à l'adversité des conditions environnementales et la faible durabilité de leurs formes.

4.1.2. Les nématodes

Les complexes némato-bactériens considérés en lutte biologique, notamment le Steinernema feltiae (=Neoplectana carpocapsae), sont relativement peu spécifiques. Non seulement peuvent-ils attaquer un grand nombre d'hôtes, mais ils peuvent aussi se propager sur des milieux de cultures simples et peu coûteux. Ces caractéristiques, associées à un délai d'action relativement court, font des nématodes une alternative valable en lutte curative. Leur pouvoir de multiplication n'est cependant pas aussi élevé que celui des microorganismes. Les possibilités de libération inoculative avec espérance d'autoamplification de l'effet répresseur sont donc réduites. Il est connu que la persistance des larves infectieuses en milieu protégé peut s'étendre sur des mois, voire même un an ou plus dans des conditions idéales. Les nématodes offrent donc des possibilités intéressantes en lutte préventive.

Un grand nombre d'essais ont permis de démontrer l'utilité potentielle de biopesticides à base de nématodes contre des ravageurs importants, notamment le doryphore de la pomme de terre, la chrysomèle des racines du maïs, la mouche du chou et les vers fil-de-fer. Des biopesticides commerciaux à base de complexes némato-bactériens sont offerts aux Etats-Unis par plusieurs firmes et des projets de commercialisation sont en cours dans plusieurs autres pays. Seulement quelques espèces sont disponibles. Le Steinernema feltiae (=Neoplectana carpocapsae), dont la virulence a été démontrée pour un grand nombre d'espèces, est le plus souvent testé et considéré pour fins d'application.

Le potentiel des nématodes en lutte biologique commence seulement à être exploité commercialement.

Les avantages particuliers de cette alternative sont

la facilité de production en masse comme dans le cas des bactéries ;

la possibilité d'application dans l'eau par les techniques utilisées pour les insecticides chimiques appliqués par pulvérisation ;

aucune indication de pathogénicité pour les vertébrés ;

une spécificité biologique peu élevée, signifiant un large spectre de ravageurs accessibles, donc une espérance de rentabilité commerciale relativement bonne.

Les barrières à l'utilisation plus étendue des nématodes sont

le manque de connaissances fondamentales sur l'écologie des nématodes (diversité des espèces de nématodes et de bactéries exploitables, mobilité, survie dans le sol) ;

la sensibilité des larves dans certaines conditions du milieu (sécheresse, lumière) ;

l'incertitude d'obtenir des taux de répression fiables ;

la spécificité biologique relativement peu élevée, rendant possible le parasitisme d'insectes utiles comme les abeilles.

Des recherches se poursuivent dans le but d'améliorer l'exploitation des nématodes comme agents biologiques. Des développements importants surviendront probablement dans

- la production en masse à faible coût ; les applications nécessitent des densités extrêmement élevées de larves infectieuses (de l'ordre de plusieurs millions de larves par hectare) pour avoir une chance de réussir ;
- la déshydratation pour fins d'entreposage et l'usage d'additifs pour l'empaquetage des larves, de façon à améliorer leur persistance et leur tolérance environnementale ;
- la recherche de souches de nématodes et de bactéries symbiotiques avec des propriétés désirables, telles la spécificité biologique ou la tolérance aux conditions adverses et la manipulation génétique pour les mêmes fins.

Six nématodes potentiellement utiles pour la répression des insectes importants au Québec ont été identifiés (tome 3). Ces nématodes sont en majeure partie des rhabditoïdes abritant des bactéries symbiotiques. Le complexe Steinernema feltiae est présentement considéré pour application contre quatre ravageurs importants, présentant tous des stades vulnérables, inféodés au sol ; il s'agit du charançon de la carotte, du doryphore de la pomme de terre, de la mouche de l'oignon et de la chrysomèle des racines du maïs.

4.1.3 Les parasitoïdes et les prédateurs

L'augmentation de l'usage des arthropodes entomophages en lutte biologique sera possible grâce à la recherche qui permettra d'acquérir de nouvelles connaissances. Des unités de production automatisées fondées sur une connaissance approfondie de la physiologie nutritionnelle, des réactions aux facteurs ambiants et du comportement des entomophages sont essentielles pour obtenir les niveaux de production et l'efficacité nécessaires au succès commercial des entomophages comme alternatives de répression aux pesticides chimiques.

Les parasitoïdes

Les parasitoïdes sont des candidats de premier choix comme biocides autonomes pour la lutte biologique contre les ravageurs. Parmi la vingtaine d'insectes parasitoïdes qui sont présentement étudiés pour utilisation contre des ravageurs importants au Québec (tome 3), mentionnons particulièrement l'Encarsia formosa utilisé pour la protection des cultures abritées contre l'aleurode des serres, Trialeurodes vaporariorum.

Leurs avantages sur d'autres alternatives et, en particulier, les microorganismes sont

- une forte autonomie et une grande mobilité se manifestant par une capacité élevée de dispersion, de repérage du ravageur et de survie indépendante ;

une bonne capacité d'autopropagation, avec des possibilités d'effets durables, voire même permanents, qui peuvent être amplifiés lorsque les hôtes convenables sont disponibles ;

une spécificité très élevée, signifiant une capacité d'intervention précise contre un insecte particulier ou quelques espèces apparentées.

Les désavantages des parasitoïdes et les barrières à leur usage plus étendu sont

le coût élevé de leur production inhérente aux techniques d'élevage en masse, impliquant des insectes-hôtes spécifiques et les plantes-hôtes qui les supportent ou, encore, des diètes artificielles particulières ;

les précautions spéciales à apporter lors des livraisons au site d'intervention puisqu'il s'agit d'organismes vivants ;

la main-d'oeuvre que nécessite la libération souvent manuelle ;

leur délai d'action relativement long ;

l'incertitude du degré de répression relié à l'influence des conditions abiotiques sur l'activité et la survie des parasitoïdes ;

leur spécificité biologique élevée, limitant le nombre de ravageurs susceptibles ainsi que la possibilité d'autopropagation lorsque la densité des populations-hôtes est faible.

Les prédateurs

Environ une trentaine d'espèces de prédateurs polyphages sont actuellement ou potentiellement exploitables au Québec (tome 3). Les plus grands succès de répression sont obtenus à l'aide de Phytoseiulus persimilis utilisé contre les tétranyques en serres et, à un moindre degré, Amblyseius fallacis, Metaseiulus occidentalis et Typhlodromus pyri, contre des acariens ravageurs des vergers. La cécidomyiide Aphidoletes aphidimiza est présentement disponible commercialement en Europe et dans l'ouest du Canada, pour la répression des pucerons en serres, quoique son usage ne soit pas encore répandu.

L'utilisation des prédateurs pour la répression des insectes ravageurs comporte plusieurs avantages dont certains sont partagés avec les parasitoïdes. Mentionnons ici

la capacité d'atteindre une répression immédiate et efficace, donc une possibilité de succès en lutte curative ;

un fort potentiel de dispersion autonome et une grande mobilité ;

une capacité d'autopropagation avec possibilité d'effet durable, voire même permanent ;

une moins grande spécificité que les parasitoïdes, donc une capacité d'utiliser des proies alternatives lorsque le ravageur ciblé est présent à faible densité ;

une spécificité biologique assez élevée pour permettre une intervention précise sans effet sur les insectes bénéfiques.

Plusieurs désavantages reliés à l'utilisation des prédateurs sont communs aux parasitoïdes, d'autres leur sont plus particuliers. Ce sont

l'élevage en masse coûteux sur des proies vivantes élevées sur des plantes ou des régimes artificiels ;

une précaution spéciale pour la livraison et la libération dans le champ ;

l'incertitude du succès de l'intervention ;

l'émigration possible des insectes libérés.

4.2 Les techniques physiques

Le choix de la technique idéale pour la répression des insectes ou pour le dépistage peut dépendre de plusieurs facteurs, dont les principaux sont le ravageur visé, la culture attaquée et, dans le cas de l'échantillonnage, le but à atteindre. Il faut également tenir compte de l'investissement de base, du coût et de la facilité d'intervention permettant à des dépisteurs et à des producteurs de s'en servir avec un minimum d'entraînement. Pour l'évaluation de la population en vue de recommandations phytosanitaires, les méthodes impliquant de longues périodes de tri, tels les pièges lumineux, les pièges à fosse et les pièges à eau, doivent être évitées, d'autant plus qu'elles ne sont pas spécifiques. Les pièges les plus efficaces pour le dépistage sont ceux qui demandent peu de travail au dépisteur et qui permettent une recommandation dans un délai acceptable.

L'utilisation de phéromones comme attractants avec différents pièges s'avère une solution prometteuse. La mise au point de différentes formulations de phéromones permet d'augmenter leurs qualités attractives et leur spécificité. La forme et la dimension des pièges utilisés avec les phéromones peuvent également devenir des éléments déterminants en regard de leur efficacité. Un autre constituant primordial du piège à phéromone à considérer est la mise au point technique de son distributeur à phéromone. En effet, la nature du distributeur, sa position dans le piège et son taux de libération sont tous des facteurs qui peuvent affecter son attrait.

Dans plusieurs cas, bien des expériences sont encore à faire afin d'arriver à une mise au point optimale des pièges à phéromone. Tenant compte de leur popularité croissante auprès des chercheurs, des dépisteurs et des producteurs ainsi que de l'intérêt que leur portent le commerce et l'industrie, on doit cependant se rappeler que les pièges à phéromones sont surtout destinés au dépistage. Cette méthode seule ne suffit pas à la répression des populations de ravageurs sans une autre forme d'intervention, qu'elle soit chimique, biologique, physique ou culturale.

Les pièges-appâts combinés à des leurres visuels sont principalement utilisés dans les vergers de pommiers pour quelques espèces de ravageurs. La recherche portant sur le développement de ces types de pièges continue à évoluer au Québec. Cette technique semble prometteuse pour d'autres insectes.

La plasticulture ou l'utilisation des bâches en polythène a joui d'une popularité croissante durant les dernières années. Le taux d'efficacité des bâches pour la répression des insectes reste encore à être déterminé.

Les méthodes physiques de répression des insectes se distinguent particulièrement dans un contexte de dépistage des populations d'insectes ravageurs. Le dépistage demeure une technique importante en lutte intégrée et sa pratique gagnera à être répandue encore plus au Québec dans les années à venir, afin de parvenir à une réduction de l'utilisation des insecticides en agriculture. Il faut donc insister sur l'importance du développement de techniques de dépistage qui soient facilement utilisables par les producteurs, ce qui permettra aux réseaux de lutte intégrée de s'établir et de se développer.

4.3 Les méthodes culturales

Les méthodes culturales ou techniques culturales, visant la répression des insectes nuisibles, constituent la base des méthodes de prévention essentielles à inclure dans une stratégie globale de lutte intégrée contre les ravageurs dans les agro-écosystèmes.

Parmi les avantages que comportent ces méthodes de lutte, retenons qu'elles sont généralement les moins coûteuses de toutes puisqu'elles ne constituent que des variantes des opérations agricoles conventionnellement pratiquées. Les coûts additionnels sont faibles puisque l'équipement et la main-d'oeuvre requises sont sensiblement les mêmes. Les coûts inhérents à la main-d'oeuvre sont parfois réduits par une meilleure planification de la régie des cultures. Ces méthodes de lutte sont normalement spécifiques et très fiables. Contrairement aux pesticides, elles ne peuvent induire le phénomène de résistance chez les insectes et, de plus, elles ne causent pas d'accumulation de résidus de pesticides dans les aliments et l'environnement. Finalement, les méthodes culturales tendent au maintien de l'équilibre naturel entre les ravageurs et leurs prédateurs.

La contrainte majeure associée à l'implantation de ces méthodes vient du fait qu'elles nécessitent une planification à long terme et une bonne connaissance des insectes afin d'être pleinement efficaces, car leur moment d'application doit être parfaitement synchronisé avec la période de vulnérabilité du ravageur. De plus, l'adoption de nouvelles pratiques culturales peut être exigeante pour le producteur, car celui-ci doit pouvoir intégrer les connaissances acquises à une approche plus globale du problème de répression des ennemis des cultures. Parmi les quelques désavantages que comportent ces méthodes, mentionnons la spécificité de certaines pratiques qui s'avèrent quelquefois efficaces contre un ravageur, mais non pas pour une espèce apparentée. La prévision de l'efficacité de ces méthodes peut être difficile à évaluer et ces techniques ne parviennent pas toujours à maintenir les populations sous un seuil économiquement acceptable. En outre, certaines de ces méthodes peuvent avoir des effets néfastes sur les poissons et la faune sauvage et aussi causer des problèmes d'érosion.

Les progrès futurs dans ce domaine reposent sur l'identification et le contournement des obstacles qui nuisent au développement et à l'implantation des méthodes culturales de répression des ravageurs ainsi que leur intégration aux autres objectifs et pratiques agricoles. En tête de liste, on retrouve le manque de recherches, de formation, de service, d'équipement,

d'espèces et de cultivars appropriés. Les pratiques les plus populaires dans une perspective de lutte intégrée sont la rotation des cultures, la fertilisation, le labour et la destruction des mauvaises herbes et des débris végétaux.

4.4 La résistance des végétaux

A court terme, l'exploitation de la résistance des plantes aux insectes ravageurs comme alternative aux insecticides peut sembler désavantageuse, à cause de la quinzaine d'années requises pour développer une variété résistante. Cependant, avec les progrès de la biotechnologie, il devient possible de réduire des deux tiers cette période, grâce à la fusion de protoplasmes et à l'introduction de gènes résistants. Son utilisation, à moyen et long termes, nous semble très prometteuse comme stratégie alternative aux insecticides. Les principaux avantages qu'on y retrouve sont, d'une part, l'effet cumulatif et persistant de la résistance et, d'autre part, le côté sécuritaire pour l'espèce humaine et l'environnement.

Peu d'espèces végétales cultivées ont fait l'objet d'études dans ce domaine. Dans la plupart des cas, les connaissances acquises n'ont pas encore permis le développement de variétés à la fois résistantes et commercialisables. Des recherches en cours visent toutefois cet objectif, les espèces à haute résistance recevant la plus grande attention dans l'élaboration des programmes de sélection de variétés.

La résistance des végétaux aux ravageurs est utilisée avec succès dans le maïs-grain. Des cultivars résistants ont été développés, car le coût des arrosages est très élevé sur les grandes superficies de cette culture. Plusieurs hybrides présentement commercialisés sont suffisamment efficaces pour rendre non rentable l'utilisation d'insecticides. Dans le cas du maïs sucré, des cultivars résistants n'ont pas encore été développés, la principale contrainte étant la superficie relativement réduite de cette culture comparativement au maïs-grain.

Le développement de programmes de sélection de variétés résistantes répondant aux conditions écologiques québécoises est donc une solution à envisager pour réduire les applications d'insecticides. Des programmes de recherches dans ce domaine doivent être encouragés pour développer de nouvelles variétés résistantes à des ravageurs et des maladies au Québec ainsi qu'à l'essai de variétés, déjà connues à l'étranger, dans nos régions de production agricole.

La résistance des plantes doit être partie intégrante de tout programme de lutte aux ravageurs, car elle est relativement stable, non polluante et, surtout, compatible avec la plupart des autres méthodes de contrôle.

4.5 Développement des alternatives au Québec

En termes monétaires, il est possible de définir deux avenues différentes dans l'analyse du marché des alternatives aux insecticides : la première concerne les économies réalisées dans l'utilisation des produits chimiques importés et la seconde, le développement de produits biologiques ou de produits dérivés des méthodes de lutte physiques ou culturales.

En ce qui concerne l'économie de produits chimiques, il semble, à partir des expériences québécoise, canadienne, américaine et française examinées, que l'introduction de la lutte biologique dans un système de lutte intégrée représente le même coût de protection pour le producteur agricole, mais que l'économie des produits chimiques soit compensée par un coût supplémentaire dû aux services professionnels requis pour l'utilisation efficace de ces méthodes. Pour la société cette économie est très importante, car elle permet le maintien d'un meilleur environnement et le développement de l'emploi dans un secteur de base de notre économie, l'agroalimentaire, le tout appuyé sur de nouvelles technologies de pointe.

Au Canada, l'importation de produits à base de virus et de bactéries est soumise à l'approbation des différents ministères fédéraux qui procèdent à des analyses qui peuvent être aussi complexes qu'aux Etats-Unis. Compte tenu du fait que le marché pour les biopesticides est moins important qu'aux Etats-Unis, il est possible que le produit ne soit pas vendu au Canada parce qu'une homologation n'a pas été demandée, à cause du coût trop élevé qui ne pourrait pas être absorbé par un aussi petit marché.

Normalement, ce marché va se développer au rythme de la demande des consommateurs et des producteurs agricoles. L'action du gouvernement doit s'inscrire dans cette dynamique si ce dernier souhaite que le rythme de développement soit plus rapide.

Elle peut se faire de deux façons : par une action réglementaire (interdiction d'utiliser des pesticides dangereux) ou par une action de soutien aux activités de développement de méthodes autres que chimiques pour lutter contre les ravageurs. La seconde approche devrait être favorisée, lorsque cela est possible.

Les développements dans le domaine de la lutte biologique devraient toujours se faire de concert entre l'entreprise privée ou coopérative et un centre de recherche, qu'il soit universitaire ou gouvernemental. La promotion de méthodes biologiques de contrôle des ravageurs doit être distinguée du développement d'entreprises de production. Ainsi, même si le Québec ne produit pas les auxiliaires nécessaires à la lutte biologique, il devrait y avoir une politique de vulgarisation des méthodes de contrôle biologiques. Par ailleurs, une entreprise qui voudrait se lancer dans la production de moyens de contrôle ne peut s'appuyer exclusivement sur le Québec pour son développement ; elle doit viser d'abord le marché nord-américain. Le marché québécois n'est pas suffisant pour supporter seul des entreprises de production et, surtout, des entreprises de production et de recherche dans les méthodes biologiques, plantes résistantes et équipement pour le contrôle des ravageurs.

5. CONCLUSION

La lutte biologique offre actuellement peu d'outils fiables pour la répression des insectes en agriculture. Les seuls biopesticides homologués au Canada sont des souches du Bacillus thuringiensis (B.t.). Les résultats de cette étude annoncent cependant une gamme d'agents biologiques potentiellement utilisables comme alternatives aux insecticides. Certains de ces organismes sont présentement à l'étude au Canada et, depuis quelques années, le gouvernement fédéral a émis des permis de recherche pour l'étude de bactéries, de virus et de champignons entomopathogènes. Ceci nous laisse croire que dans les années qui viennent, de nouveaux biopesticides pourraient apparaître sur le marché.

Le contrôle biologique en serre offre par ailleurs des solutions plus applicables dans l'immédiat. Les quelques agents biologiques actuellement commercialisés pour la répression des ravageurs des cultures abritées sont fiables et largement utilisés. La recherche dans ce domaine est en plein développement mais, compte tenu de l'évolution du phénomène de résistance, les besoins de la recherche iront en grandissant.

À cause de la faible disponibilité des agents de lutte, la meilleure stratégie à adopter demeure la prévention. Cette approche a pour but de maintenir les densités des populations d'insectes ravageurs sous le seuil de nuisance par une bonne régie des cultures. Certaines méthodes culturales permettent d'atteindre un équilibre dans les agro-écosystèmes diversifiés. Les monocultures constituent cependant des agro-écosystèmes déséquilibrés où les ravages d'insectes sont particulièrement graves. La répression sans insecticides dans ces milieux demeure un défi de taille. Le dépistage des insectes ravageurs à l'aide de pièges permet une utilisation plus raisonnée des pesticides et, par conséquent, une bonne réduction du nombre de traitements insecticides.

6. RECOMMANDATIONS

Les alternatives biologiques identifiées ne sont pas toutes également applicables dans l'immédiat. Les contraintes à leur disponibilité ou à leur utilisation immédiate viennent du manque de recherche, de vulgarisation et de connaissances du producteur agricole.

Différentes solutions sont ici recommandées afin de surmonter ces contraintes et de parvenir efficacement, dans les années qui viennent, à l'implantation au Québec d'alternatives aux pesticides. Ces recommandations concernent différents intervenants impliqués dans le secteur de la recherche, du développement industriel ou de la mise en marché des produits. De plus, elles touchent les secteurs du financement, de la formation et l'information.

6.1 La recherche

6.1.1 Besoins de la recherche

Dans les tableaux, il est mentionné, dans plusieurs cas, que des recherches additionnelles seront nécessaires. Une première condition essentielle au transfert de la lutte chimique vers les modes alternatifs est donc le soutien à la recherche et au développement technique, par l'existence de programmes de recherche spécialisés, en particulier dans les institutions de recherche traditionnelles.

La recherche scientifique dans le domaine des alternatives biologiques est pratiquée à l'échelle mondiale et, à l'exception de la recherche effectuée par les firmes privées à des fins commerciales, les découvertes sont publiées rapidement et, dans bien des cas, applicables en dehors du pays d'origine. Néanmoins, notre potentiel de contribution à la recherche n'est pas pour autant négligeable. Les ressources étant limitées, la contribution locale à la recherche fondamentale ou au développement technique sera forcément limitée à certains agents ou catégories d'agents particuliers. Cependant, en ce qui concerne la mise en pratique des modes biologiques, des efforts de recherche et de soutien technique au niveau local seront nécessaires pour toutes les productions, sans égard aux agents ou catégories d'agents biologiques, à cause des conditions particulières qui caractérisent les milieux et les pratiques agricoles locaux.

La recherche fondamentale ou appliquée s'avère, d'abord et avant tout, la responsabilité des institutions universitaires ou gouvernementales de recherche, qui ont déjà un rôle dans la formation des conseillers agricoles ou des chercheurs. Certaines institutions québécoises ont déjà des chercheurs spécialisés en lutte biologique ou dans un domaine connexe au Québec, mais leur nombre est limité. En réalité, plusieurs disciplines fondamentales ou champs d'application de la lutte biologique sont intouchés ou presque.

Cette lacune ne reflète pas un manque d'intérêt de la part des chercheurs, mais plutôt un manque de support financier pour entreprendre des recherches dans ce domaine.

Quoique la responsabilité des institutions spécialisées vienne en premier, le rôle de l'entreprise privée n'est pas pour autant nul, surtout du côté de la recherche appliquée. La recherche contractuelle ayant pour objectif la mise au point de produits commercialisables parmi les biopesticides et les entomophages, ainsi que le développement de produits nouveaux ou améliorés (nouvelles formules de biopesticide, nouvel entomophage ou entomophage avec des propriétés nouvelles comme la résistance aux pesticides), des opportunités de recherche aux fins de commercialisation sont accessibles à l'entreprise privée, avec ou sans la collaboration des institutions traditionnelles.

6.1.2 Financement

Des sommes d'argent suffisantes doivent être consacrées à la recherche portant sur de nouveaux agents biologiques ainsi que sur les méthodes culturales de répression des ravageurs des cultures. Une liste de priorités devrait être établie, en mettant l'accent sur la participation à long terme (in situ) d'équipes multidisciplinaires de recherche. A cause de la tendance actuelle de subventionner la recherche avec un montant équivalent à celui fourni par l'industrie, il est impératif de désigner comme prioritaires les domaines qui risquent d'être boudés par l'industrie, comme celui des contrôles culturaux, domaines qui s'intéressent plus aux processus, qu'aux produits.

Dans plusieurs cercles gouvernementaux, on entend souvent dire que les fonds consacrés à la recherche sur les pesticides (essais, évaluations, etc.), devraient être graduellement réorientés vers la recherche de méthodes de contrôle alternatives. L'argent consacré à la recherche sur les pesticides devrait provenir de l'industrie elle-même.

6.2 Disponibilité des agents

6.2.1 Importation

Les biopesticides actuellement commercialisés ou en voie de l'être sont des produits de sociétés étrangères, de moyenne ou grande taille, déjà bien implantées et pouvant offrir une vive concurrence pour le marché local. Par ailleurs, les firmes produisant des insectes ou acariens entomophages distribués au Québec sont également situées à l'extérieur, en particulier en Ontario, en Colombie-Britannique et en Europe. La viabilité commerciale de firmes locales qui voudraient s'impliquer dans la production de biopesticides ou d'entomophages, en plus de leur simple distribution, apparaît possible, mais ces firmes auront probablement à se spécialiser dans des produits nouveaux ou améliorés pouvant leur procurer un avantage sur la concurrence.

6.2.2 Développement au Québec

Le développement de produits nouveaux ou améliorés n'apparaît possible qu'avec des efforts de recherche considérables difficilement soutenables pour de petites ou moyennes entreprises. Cependant, de tels développements pourraient être possibles dans le cadre d'ententes de collaboration entre l'entreprise privée et des institutions traditionnellement vouées à la recherche. C'est d'ailleurs la voie qu'ont suivie plusieurs firmes commerciales produisant et vendant des entomophages. En outre, une entreprise qui voudrait se lancer dans une production de moyen de répression ne peut s'appuyer exclusivement sur le marché du Québec pour son développement, mais doit viser d'abord le marché nord-américain.

La distribution d'entomophages non commercialisés pour fins de libération en masse ne peut être faite économiquement à l'extérieur, dans les champs, d'où l'importance déjà signalée de l'implantation d'un laboratoire d'élevage d'entomophages.

6.2.3 Institutions publiques

Quant aux institutions publiques, leur rôle est évident dans le cas de l'implantation d'agents exotiques qui doit nécessairement passer par Agriculture Canada à cause des implications légales. D'ailleurs, la recherche d'agents à l'étranger et leur obtention nécessitent la collaboration internationale et impliquent normalement des organismes spécialisés, notamment le Commonwealth Institute of Biological Control, qui a l'expertise et les structures permettant la réalisation de tels projets. Les institutions publiques ont aussi un rôle évident à jouer dans le cas d'agents biologiques non commercialisés, en particulier d'insectes et acariens entomophages.

6.3 Formation, information et transfert des connaissances

Même pour les alternatives applicables actuellement, les connaissances ne sont pas largement disséminées et accessibles au niveau de la production. Les responsables du transfert des connaissances aux producteurs, qui dans notre contexte sont normalement les agronomes, ont donc un important rôle à jouer et doivent, par conséquent, être renseignés au sujet des alternatives biologiques, des pratiques culturales et de leur application pratique en lutte intégrée. Or, l'insatisfaction la plus fréquemment soulignée par les producteurs qui désirent éviter l'utilisation de pesticides porte sur le fait que la majorité des agronomes consultés sont incapables de les aider à résoudre, dans cette optique, leurs problèmes de ravageurs.

Les conseillers agricoles manquent en général de préparation spécifique en vue de l'application des modes alternatifs biologiques. Même dans le cas des ravageurs des cultures abritées pour lesquels la lutte intégrée axée sur des entomophages contre les ravageurs primaires (ex. aleurode des serres) est développée au point que les agents biologiques sont disponibles commercialement, les connaissances des producteurs demeurent limitées et fragmentaires.

Une partie du problème est sûrement liée au fait que les firmes commerciales qui vendent des agents sont toutes à l'extérieur ou n'ont pas de distributeurs locaux ou, encore, que ceux-ci ne sont pas suffisamment impliqués ou spécialisés eux-mêmes. Il en résulte que les producteurs sont mal renseignés sur les conditions d'application ou même sur l'efficacité des agents biologiques, que dans ce contexte leurs expériences avec les alternatives biologiques sont souvent désastreuses et qu'il existe peu de services spécialisés pouvant répondre à leurs besoins dans ce domaine.

Pour remédier à cette situation, des scéances de formation, des cours, etc. devraient être offerts aux agronomes, afin de leur permettre de se familiariser avec les stratégies alternatives de contrôle des ravageurs, incluant les pratiques culturales.

À court terme, la solution repose sur la prolifération d'ateliers de formation pratique et de cours d'extension destinés aux conseillers, aux producteurs et aux distributeurs d'agents biologiques.

À moyen terme, il est aussi possible d'envisager l'existence de services de télé-expertise issus d'institutions ayant les ressources nécessaires, avec possiblement la collaboration de l'entreprise privée.

À plus long terme, la solution repose sur l'enrichissement des programmes de formation des intervenants au niveau universitaire, par des cours spécifiques portant sur la lutte biologique offerts dans des institutions d'enseignement et de recherche dans ce domaine.

6.4 Réseaux de dépistage

Les réseaux de dépistage tiennent un rôle primordial dans l'assainissement des agro-écosystèmes. Les bienfaits de ces réseaux méritent d'être reconnus et leur prolifération serait à souhaiter dans les années qui viennent. Les dépisteurs sont chargés d'une grande responsabilité professionnelle puisque leur jugement met en jeu l'abondance et la qualité des récoltes. Il serait donc souhaitable que les gouvernements encouragent financièrement la formation de réseaux de dépistage composés de professionnels qualifiés, tels des agronomes et des entomologistes diplômés.

Gouvernement du Québec
Ministère de
l'Environnement